UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

CEPRUNSA
CALIDAD EN LA PREPARACIÓN ACADÉMICA

I FASE
2026

CURSO

BIOLOGÍA

TEMA 1: BIOLOGÍA, EL ORIGEN DE LA VIDA Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

Para iniciar el curso de Biología, en esta semana revisaremos los principios básicos de esta ciencia básica, tomando como punto de partida las diversas teorías asociadas al origen de la vida, y al estudio y clasificación de los seres vivos.

1. BIOLOGÍA, EL ORIGEN DE LA VIDA Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

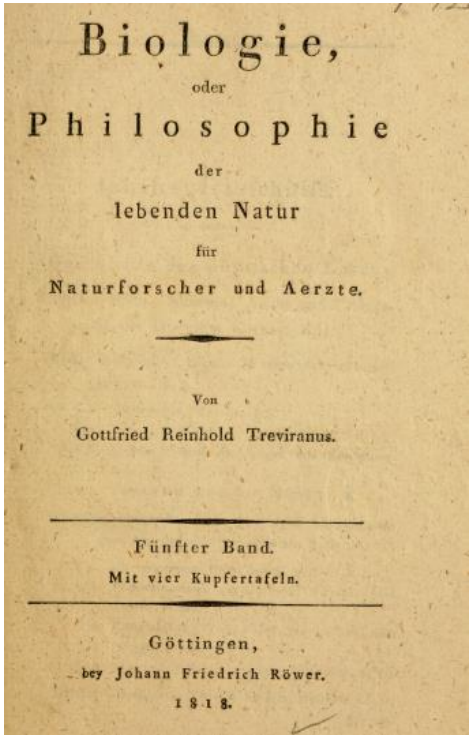
1.1.LA BIOLOGÍA: CONCEPTO, HISTORIA Y RAMAS

La palabra “biología” proviene del griego bios que significa vida y logos que significa estudio, ella fue acuñada hace poco más de doscientos años, por el naturalista alemán Gottfried R. Treviranus (1776-1837) y también por el naturalista francés del siglo XIX, Jean Baptiste de Monet conocido como “El Caballero de Lamarck” (1744-1829), quienes usaron el término de Biología para referirse a la ciencia de la vida, aplicable al estudio de todos los seres vivos. Sin embargo, algunos historiadores de la ciencia piensan que Jean Baptiste de Monet, tomó el nombre de Biología de Treviranus, sin embargo, se continúan buscando rastros aún más antiguos de este término (Treviranus 1818; Carozi, 1964; Curtis et al. 2008, Klaus, 2019).

Un gran aporte científico contemporáneo, es el libro *Biología* de Curtis et al. (2008) es una obra fundamental en el estudio de la biología. En su introducción, destaca la diversidad y complejidad del objeto de estudio de la biología, señalando que los fenómenos biológicos suelen tener múltiples causas y pueden analizarse desde distintos niveles y enfoques. También enfatiza

la importancia de una reflexión crítica sobre la naturaleza de la ciencia, considerando los aspectos históricos, la relación entre ciencia y sociedad, y los valores involucrados en la construcción del conocimiento.

Fig. 1.1. Obra de Treviranus, donde usa el término de Biología como una aplicación para el estudio de los seres vivos.

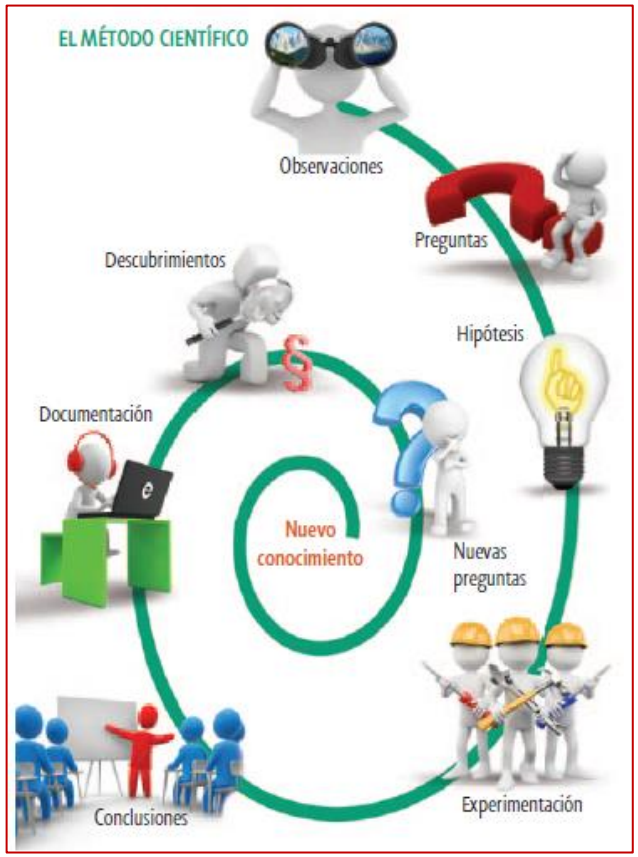

Biologie,
oder
Philosophie
der
lebenden Natur
für
Naturforscher und Aerzte.
Von
Gottfried Reinhold Treviranus.
Fünfter Band.
Mit vier Kupfertafeln.
Göttingen,
bey Johann Friedrich Röwer.
1818.

Fuente: Treviranus 1818

Por consiguiente, la Biología es una de las ciencias naturales cuyo objetivo es el estudio de la naturaleza que utiliza el método científico para obtener los conocimientos que ella guarda. Por lo tanto, esta ciencia produce una forma de pensar y un método para investigar el mundo natural de una manera orgánica y sistemática donde se ponen a prueba las ideas y con base en los resultados, se modifican o rechazan estas, (Las preguntas y las ideas son el disparador de toda actividad científica) por ello, requiere de una investigación dinámica que a menudo propicia controversia según las observaciones formuladas, el tipo de preguntas y el diseño de experimentos ligados a la creatividad del propio científico. (Curtis, 2008)

En esa línea reiteramos que, es fundamental la aplicación del **método científico** como proceso o camino establecido para llevar a cabo una investigación que permite explorar un hecho o aspecto de la realidad. En consecuencia, el investigador propone una explicación tentativa acerca de ese hecho, y se ocupa de seguir los pasos para buscar la evidencia que lo lleve a comprobar o refutar sus ideas, y establecer así leyes o teorías (Auresirck, 2008; Gama & Fernández, 2016).

Fig. 1.2. Actividades que caracterizan al Método Científico.

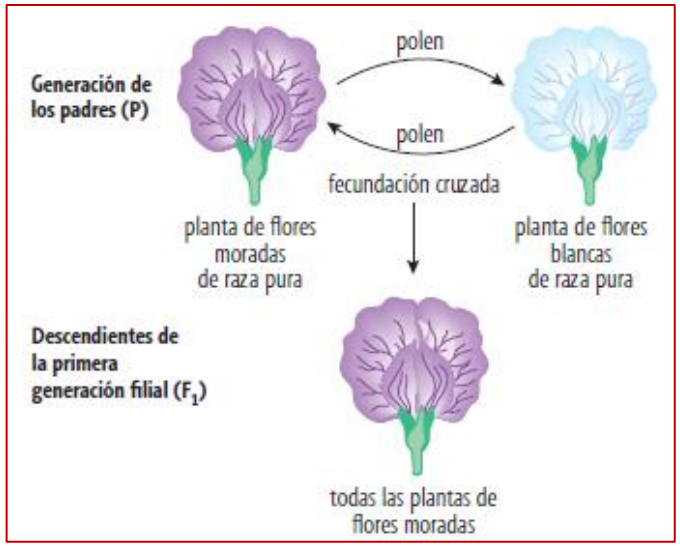


Fuente: Gama & Fernández, 2016

En ese sentido, tomaremos como ejemplo el caso de **Johann Gregor Mendel,** quien vivió en el siglo XIX (1822-1884) en la actual República Checa. Gregor Mendel observaba en plantas de chícharo (en nuestro medio se conoce como Alverjas), con gran curiosidad científica, las diferencias que presenta la transmisión de las características que los hijos heredan de los padres. Probablemente Mendel se planteó el problema de la herencia biológica preguntándose: **¿Cuál es el camino preciso que siguen las características hereditarias para pasar de padres a hijos?** El problema que le interesaba a Mendel consistía fundamentalmente en conocer el mecanismo preciso que rige la herencia biológica.

Para ello planteó la siguiente hipótesis: "**si** en los gametos de los progenitores se encuentran los factores hereditarios investigados, **entonces** éstos se manifestarán en sus descendientes". Para la comprobación de esta hipótesis, Mendel estuvo cruzando plantas durante nueve años, pasando polen de una planta a otra, anotando cuidadosamente cuál era sus efectos, hasta comprobar, sin lugar a dudas, que su hipótesis era correcta. Así pudo establecer en forma clara y definitiva las bases de los principios que rigen la transmisión de la herencia biológica, las cuales están contenidas en las leyes de la herencia. Hoy conocemos esta parte de la biología como "genética mendeliana". (Gama & Fernández, 2016).

Fig. 1.3. Mendel observó cruzamiento del gen recesivo respecto al color era el blanco.


Generación de los padres (P)
polen
polen
fecundación cruzada
planta de flores moradas de raza pura
planta de flores blancas de raza pura
Descendientes de la primera generación filial (F_1)
todas las plantas de flores moradas

Fuente: Gama & Fernández, 2016

En suma, la biología explora la naturaleza desde la vida de las estructuras de los virus y bacterias a las interacciones de las comunidades de nuestra biosfera. Algunos biólogos trabajan principalmente en los laboratorios, y otros hacen su trabajo en el campo.

Estas formas de investigaciones básicas de biología han proporcionado la tecnología para trasplantar riñón, hígado, y corazón; manipular genes; tratar muchas enfermedades, y aumentar la producción alimentaria mundial (Solomon et al. 2011).

1.1.1 HISTORIA DE LA BIOLOGÍA

1.1.1.1 LOS INICIOS DE LA BIOLOGÍA COMO CIENCIA

Ya en las primeras sociedades civilizadas antiguas, aparecieron muchas personas que intentaron investigar a los organismos vivos, comenzaron a reunir información sobre plantas y animales para clasificarlos. Y aunque esta información era a menudo ingenua, fueron ellas quienes iniciaron la investigación científica en biología. Uno de los fundadores de la biología en las civilizaciones antiguas fue el destacado filósofo y científico griego Aristóteles, quien por primera vez describió en detalle muchas especies de animales y sugirió que las plantas y animales existentes son el resultado del desarrollo de formas simples a otras más complejas y perfectas. (Villee, 1985; Mc Klause, 2019)

En adelante, la biología se convirtió en una ciencia independiente a partir de los siglos XVIII y XIX. En el proceso de su formación, generalmente hay tres etapas principales: tradicional (Linnaeus), evolutiva (C. Darwin), genética molecular (G. Mendel). Cada uno de ellos está asociado con un aumento en el conocimiento biológico, y un cambio en los conceptos generales del mundo viviente, fundamentos mismos del pensamiento biológico, o paradigmas biológicos. (De erice, 2012; Mc Klause, 2019)

1.1.1.2 LA ETAPA TRADICIONAL: LA IDEA DE LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA SILVESTRE:

Con el desarrollo de la idea de la evolución del mundo orgánico, la sistemática desempeñó un papel importante. La tarea principal de la taxonomía es comparar las características específicas de cada especie y cada taxón de un rango superior, así, como las propiedades generales de ciertos taxones. Los fundamentos de la sistemática se establecieron en los trabajos de J. Rey (1693) y C. Linneo (1735). (Curtis, 2008; Mc Klause, 2019)

Así también, el naturalista sueco del siglo XVIII, Carl Linneo, por primera vez aplicó la nomenclatura binaria y construyó la clasificación artificial más exitosa para las plantas y animales. Lo que Linneo llama el "método natural" es, de hecho, una teoría fundamental de la vida. El gran mérito de C. Linneo, con la creación de un sistema artificial, llevó a la biología a la necesidad de considerar material empírico colosal desde el punto de vista de los principios teóricos generales. (Mc Klause, 2019)

1.1.1.3 LA ETAPA EVOLUTIVA: TEORÍA DE DARWIN Y LAMARCK.

En el curso de la evolución, en primer lugar, surgen nuevas especies, es decir, aumenta la diversidad de formas de los organismos. En segundo lugar, los organismos se adaptan a los cambios en las condiciones ambientales donde viven. En tercer lugar, como resultado de la evolución, el nivel general de organización de los seres vivos aumenta gradualmente: se vuelven más complejos y mejorados. (Solomon, 2013)

Cabe mencionar que, las primeras teorías evolutivas fueron creadas por dos grandes científicos del siglo XIX: Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, (caballero de Lamarck) y Charles Robert Darwin, crearon teorías evolutivas que son opuestas en

estructura, naturaleza de razonamiento y conclusiones principales. La teoría de Lamarck no fue aceptada ampliamente por los contemporáneos, mientras que la teoría de Darwin se convirtió en la base de la teoría evolutiva. (Brigg, 2012; Mc Klause, 2019)

1.1.1.3.1 TEORÍA DE "LAMARCK":

La teoría de Lamarck o también denominada teoría del transformismos o teoría del uso y desuso se publicó el libro de Lamarck, "La filosofía de la zoología" en 1809, donde se presentó la primera teoría holística de la evolución del mundo orgánico. Para ello identificó dos de las direcciones más comunes de la evolución: **primero**, el desarrollo ascendente desde las formas de vida más simples hasta las formas más complejas y perfectas, y **segundo**, la formación de adaptaciones de los organismos en función a los cambios en el entorno externo (desarrollo "vertical" y "horizontal").

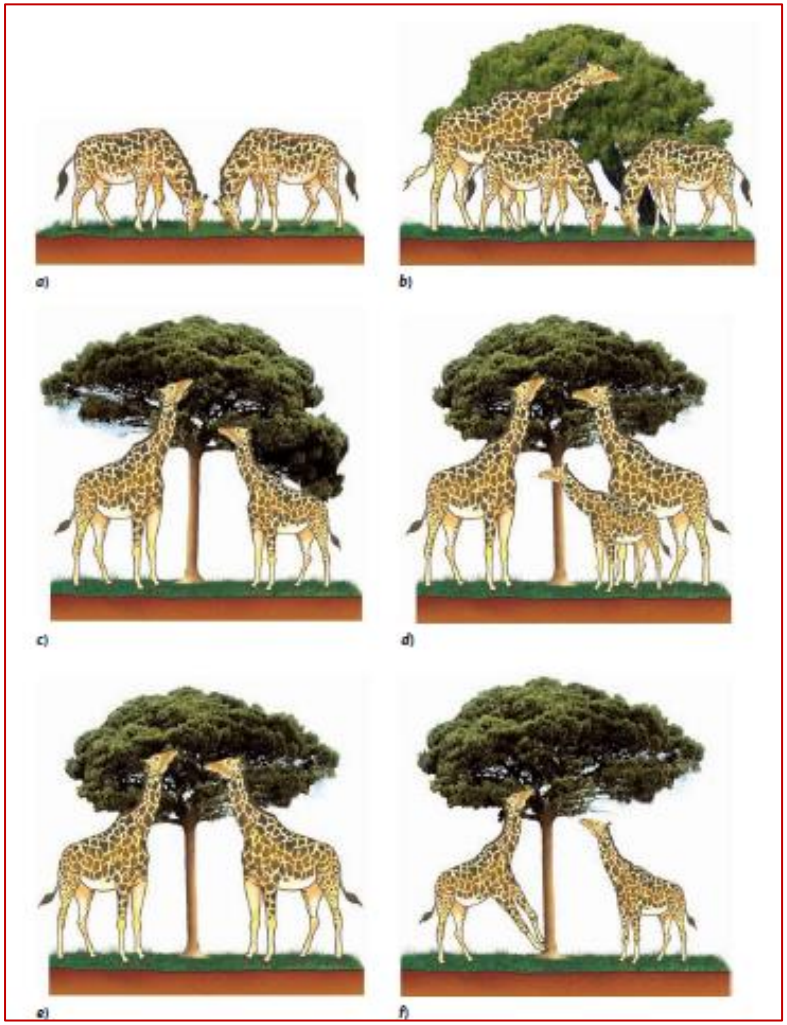
Lamarck, fue uno de los primeros científicos que desarrolló la idea de la evolución del mundo orgánico al nivel de la teoría, además, creía que el desarrollo histórico de los organismos no es accidental, sino natural y se produce en la dirección de la mejora gradual, llamó a este aumento en el nivel general de organización "**gradación**". Esta disposición de Lamarck se concretó en dos leyes fundamentales: (De Erice, 2012; Mc Klause, 2019)

- **La función del uso y desuso:** Los organismos se adaptan a nuevas condiciones mediante el desarrollo de hábitos que transforman algunos órganos de su cuerpo; esos órganos se usan más para cumplir ciertas funciones y se atrofian si no se les utiliza de modo continuo.
- **La herencia de los caracteres adquiridos** Las modificaciones o transformaciones que sufre un órgano como consecuencia del uso son heredadas a los descendientes y los órganos que no se emplean se atrofian y no se heredan; así se forman especies nuevas, mediante las transformaciones de las especies que les dieron origen.

Según Lamarck: a) Los antepasados tenían cuellos cortos y se alimentaban con pastos. b) Un cambio en el ambiente ocasionó escasez de pastos y tuvieron que estirar sus cuellos para

alimentarse de los árboles. c) Los descendientes nacían con cuellos largos, pero seguían estirándose para obtener alimento, hasta llegar a la jirafa actual. Según Darwin: d) Los antepasados tenían cuellos cortos, pero, debido a la variabilidad, algunos nacían con el cuello más largo que otros. e) Ante la escasez de pasto, los individuos de cuello largo fueron los más favorecidos. f) Con el tiempo, predominaron los individuos de cuello largo debido a que estaban más y mejor alimentados. Heredan a sus descendientes el carácter "cuello largo".

Fig.1.4 Explicación de Lamarck y Darwin sobre la evolución de las jirafas

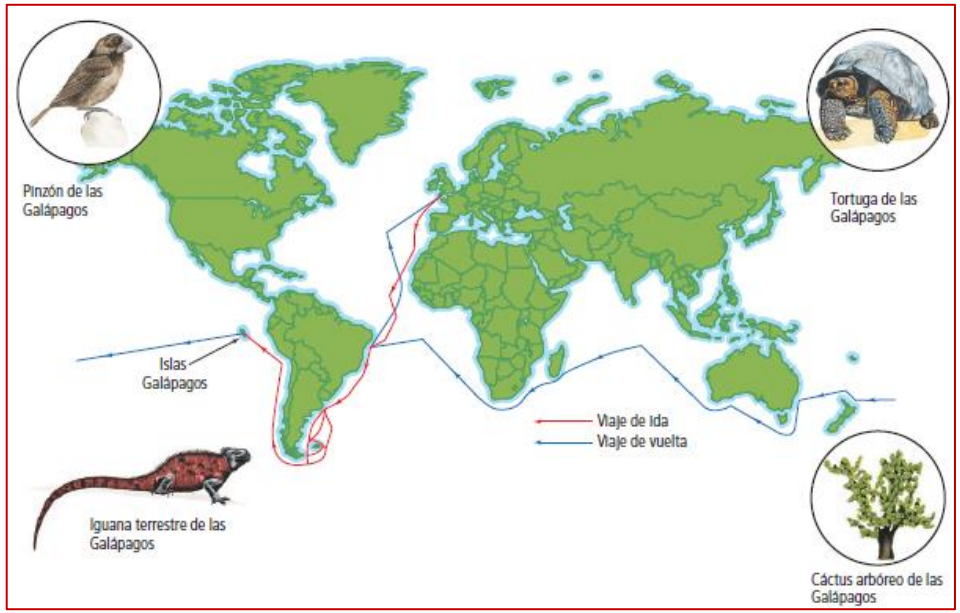


Fuente: De Erice, 2012

1.1.1.3.2 TEORÍA DE DARWIN

Charles Darwin en su obra principal "El origen de las especies por selección natural" (1859), resume su trabajo sobre la biología moderna y su práctica de reproducción, utilizando los resultados de sus propias observaciones mientras viajaba por el mundo, también, reveló los principales factores en la evolución del mundo orgánico. En el libro "El cambio de los animales domésticos y las plantas cultivadas", describió material fáctico adicional para el trabajo principal. En el libro “El origen del hombre y la selección sexual” (1871) expuso la hipótesis del origen del hombre a partir del ancestro parecido a un mono. (Curtis, 2008; Brigg, 2012; Mc Klause, 2019)

Fig.1.5 El mapa muestra la ruta del viaje del Beagle. Las especies que se muestran son todas únicas de las islas Galápagos.



Fuente: Brigg, 2012

La teoría de Darwin se fundamenta en la capacidad que tienen los organismos para repetir en una serie de generaciones, los tipos similares de metabolismo y desarrollo individual. La herencia, junto con la variabilidad, garantiza la constancia y diversidad de las formas de vida, lo que permite la evolución de

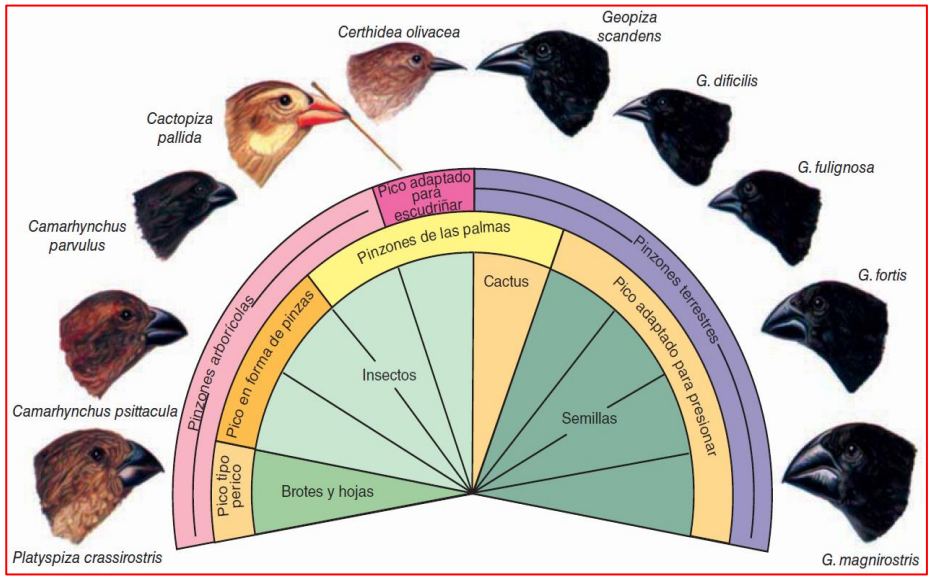
los seres vivos, además, Darwin utilizó en su teoría de la evolución, la noción de "**lucha por la existencia**", para designar las relaciones entre los organismos y sus condiciones ambientales, lo que lleva a la muerte de los menos adatados y la supervivencia de los individuos más adaptados. (Curtis 2008; Mc Klause, 2019)

Darwin identificó dos formas principales de variabilidad: **variabilidad cierta**: es la capacidad de todos los individuos de la misma especie, para responder de la misma manera a estas condiciones abióticas (clima, suelo). La **variabilidad incierta**, también denominada mutación; es la variabilidad indefinida cuya naturaleza no corresponde a cambios en las condiciones externas. Según Darwin, los cambios menores en la primera generación se intensifican en los posteriores (Curtis, 2008; Solomon, 2013; Mc Klause, 2019)

La teoría de la selección natural, junto con los principios de la lucha por la existencia, la herencia y la variabilidad, es la base de la teoría darwiniana de la evolución. (Solomon, 2013)

En la época de Darwin, la herencia se representaba como una especie de propiedad general del organismo, inherente a ella en su conjunto. En este sentido, el ingeniero escocés Fleming Jenkin entró en la historia de la biología y presentó objeciones contra la teoría de Darwin. Creía que los nuevos rasgos útiles de algunos individuos de esta especie deberían desaparecer rápidamente cuando se cruzan con otros individuos más numerosos. Objeciones al propio Jenkin que Darwin consideró muy serios, apodado "la pesadilla de Jenkin". Estas objeciones se refutaron solo cuando quedó claro que el aparato de la herencia estaba formado por unidades estructurales y funcionales separadas: los genes. (Mc Klause, 2019)

Fig. 1.6. Pinzones de Darwin.



Fuente: De Erice, 2012

1.1.1.4 LA ETAPA DE LA GENÉTICA MOLECULAR: LAS LEYES DE LA HERENCIA

En 1865, se publicaron los resultados de la hibridación de variedades de guisantes, donde se descubrieron las leyes más importantes de la herencia. El autor de estos trabajos, fue el investigador checo Gregor Mendel, quien demostró que los caracteres de los organismos están determinados por factores hereditarios discretos. Sin embargo, estas obras permanecieron prácticamente desconocidas durante casi 35 años, desde 1865 hasta 1900. (De Erice 2012; Solomon, 2013)

En 1900, las leyes de Mendel fueron redescubiertas independientemente por tres científicos a la vez, por G. de Vries en Holanda, C. Correns en Alemania y E. Cermak en Austria. Los avances hereditarios discretos fueron descubiertos en 1865 por Mendel. En 1909, el científico danés V. Iogansen los llamó genes (de las palabras griegas "origen"). Ahora se ha establecido que un gen es una unidad de material hereditario responsable de la formación de algún rasgo elemental, es decir, unidad de información hereditaria: es una sección de la molécula de ADN (o ARN en algunos virus) del cromosoma.

La teoría cromosómica de la herencia, desarrollada en 1910-1915 en los trabajos de A. Weisman, T. Morgan, A. Stertevant, G. J. Meller y otros, sostiene que la transferencia de las características y propiedades del organismo de generación en generación (herencia) se realiza principalmente a través de los cromosomas en los que se encuentran los genes.

Es así que, en 1944 los bioquímicos estadounidenses (O. Avery y otros) encontraron que el ADN era el portador de la propiedad de la herencia. A partir de ese momento comenzó el rápido desarrollo de la ciencia, explorando las principales manifestaciones de la vida a nivel molecular. Al mismo tiempo, por primera vez, apareció un nuevo término para esta ciencia: biología molecular.

En 1953, se descifra la estructura del ADN (F. Crick, D. Watson). Así también, los estudios de la propiedad de la duplicación del ADN proporcionan las bases del fenómeno de la herencia.

No obstante, descifrar la estructura del ADN fue una revolución en la biología molecular, que abrió un período de importantes descubrimientos, cuya dirección general fue el desarrollo de ideas sobre la esencia de la vida, la naturaleza de la herencia, la variabilidad, el metabolismo, etc. En consecuencia, descifrar la estructura del ADN fue una revolución en la biología molecular, que abrió un período de importantes descubrimientos, cuya dirección general fue el desarrollo de ideas sobre la esencia de la vida, la naturaleza de la herencia, la variabilidad, el metabolismo, etc.

De acuerdo con la biología molecular, las proteínas son macromoléculas muy complejas, cuyos elementos estructurales son aminoácidos. La estructura de la proteína está determinada por la secuencia de sus aminoácidos. Al mismo tiempo, de cada 100 conocidos en la química orgánica de los de los aminoácidos, solo veinte se utilizan en la formación de proteínas de todos los organismos. Todavía no está claro por qué estos 20 aminoácidos sintetizan proteínas del mundo orgánico. Generalmente, en cualquier criatura que vive en la Tierra, hay 20 aminoácidos, 5 bases, 2 carbohidratos y 1 fosfato.

1.1.2 RAMAS DE LA BIOLOGÍA

La gran variedad de conocimientos obtenidos por la biología y la diversidad de sus objetos de estudio, han obligado la división de esta ciencia en varias ramas, que permiten a los investigadores enfocarse en determinados aspectos de los seres vivos y organizar de manera más eficiente la información obtenida (De Erice, 2012):

a) **Zoología:** Estudia los animales, sus funciones vitales y sus formas de vida.

b) **Botánica:** Estudia las plantas y sus interacciones con otros vegetales y animales.

c) **Micología:** Estudia los hongos, su interacción con seres vivos y medio ambiente.

d) **Paleontología:** Estudia los seres vivos de épocas remotas a partir de los fósiles.

e) **Ecología:** Estudia la interacción entre los organismos y el medio ambiente.

f) **Taxonomía:** Estudia las clasificaciones y nomenclatura de los seres vivos con base en caracteres comunes.

g) **Sistemática:** Estudia la biodiversidad con base en las relaciones jerárquicas de los linajes de los seres vivos.

h) **Embriología:** Estudia la formación y desarrollo de organismos a partir del embrión.

i) **Fisiología:** Estudia procesos y funciones de los seres vivos y de cada una de las partes, órganos y tejidos del cuerpo.

j) **Citología:** Estudia la célula: estructura, desarrollo, reproducción y función.

k) **Microbiología:** Estudia organismos que causan enfermedades a otros seres vivos.

l) **Genética:** Estudia los procesos relacionados con la herencia, la transmisión de genes y las variaciones producidas por éstos.

m) **Anatomía:** Estudia el número, estructura, situación y diferentes partes (órganos y sistemas) de los organismos.

n) **Histología**: Estudia los tejidos celulares de hongos, vegetales y animales.

o) **Etología:** Estudia comportamiento y carácter de organismos en su entorno natural.

p) **Evolución:** Estudia cambios y adaptaciones que las poblaciones han presentado a lo largo del tiempo y cómo ha dado lugar a extinciones y nuevas especies.

1.2 TEORÍAS DEL ORIGEN DE LA VIDA

Desde que el ser humano apareció en la faz de la Tierra ha intentado explicar el origen de la vida. Las principales teorías

sobre el origen de la vida son: creacionismo, generación espontánea, panspermia y la teoría fisicoquímica.

1.2.1 TEORÍA DE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA

En el siglo V a. de C., científicos griegos como Anaximandro y Tales de Mileto plantearon la teoría de la generación espontánea para explicar el origen de la vida. Creían que la vida se origina en el lodo, de la combinación de fuego y agua o de cualquier otra combinación de elementos, pero sin la intervención de dioses. Otros filósofos griegos consideraron que la vida era resultado de la combinación de elementos no vivos más la energía procedente de los rayos del sol.

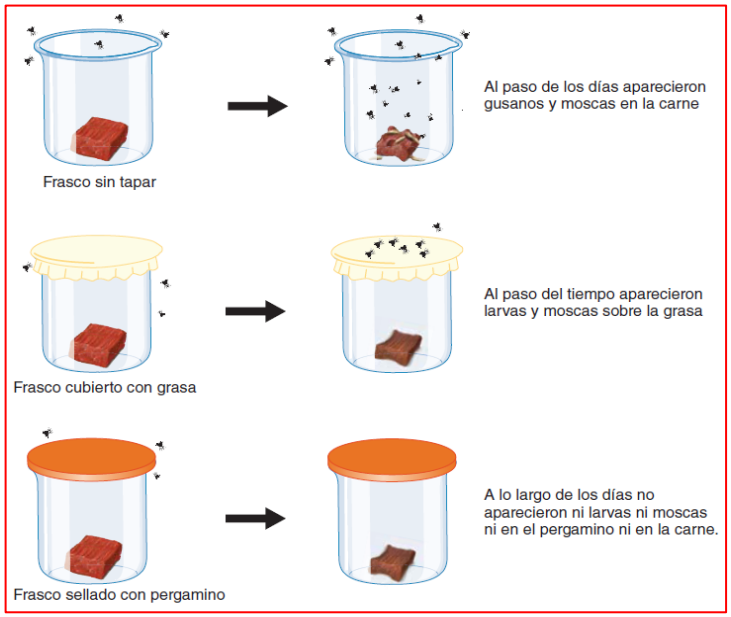
En el siglo IV a. C., Platón y Aristóteles respaldaron la concepción de que la vida surgía a partir del rocío, agua de mar, sudor o suelos húmedos, y explicaba que la interacción de la materia no viva se debía a una fuerza sobrenatural a la que Aristóteles llamó entelequia, capaz de dar vida a lo que carecía de ella. En el siglo II a. C., el escritor romano Virgilio sostuvo que las abejas se originaban de la miel.

De hecho, la teoría de la generación espontánea mantuvo vigencia durante más de 1500 años, durante los cuales la Iglesia la ligó al concepto de vitalismo, del que se desprendía la idea de que el origen de la vida se debía a una fuerza vital o soplo divino.

Durante la Edad Media (siglos V a XV), **Jan Baptista van Helmont**, médico, proponía que si una hoja caía al mar se convertía en pez; si caía en tierra se transformaba en ave.

En 1668, el italiano **Francesco Redi**, en desacuerdo con las ideas antiguas, refutó la teoría de la generación espontánea con un experimento sencillo: tomó tres frascos y metió en ellos trozos de carne fresca; dejó abierto uno, tapó otro con un trozo de gasa y cerró el tercero con un pergamino. En el primer frasco aparecieron gusanos y moscas; en el segundo surgieron larvas sobre la gasa, pero no en la carne, y en el tercero no aparecieron larvas ni moscas, ni sobre el pergamino, ni en el interior de los frascos. Con ello, se evidenció que la vida no surgía de la materia inerte.

Fig. 1.7. Experimento de Redi.


Frasco sin tapar
Al paso de los días aparecieron gusanos y moscas en la carne
Frasco cubierto con grasa
Al paso del tiempo aparecieron larvas y moscas sobre la grasa
Frasco sellado con pergamino
A lo largo de los días no aparecieron ni larvas ni moscas ni en el pergamino ni en la carne.

Fuente: De Erice, 2012

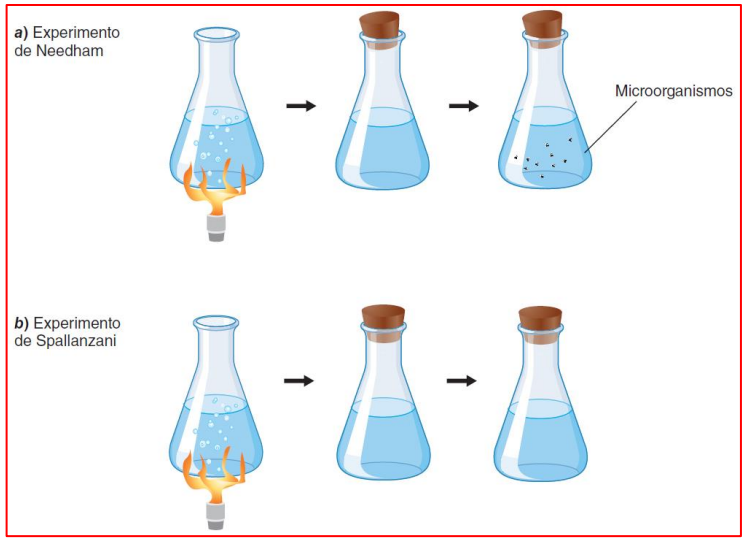
Sin embargo, en 1745, el inglés **John Needham**, quien estaba a favor de la generación espontánea, puso un caldo de carnero previamente hervido en una redoma (frasco de boca ancha), lo tapó con corcho y comprobó que pasados los días aparecían microorganismos dentro del frasco, con lo que la teoría de la generación espontánea volvió a cobrar adeptos. Sin embargo, Needham no había sellado apropiadamente el frasco, pues, de acuerdo con su teoría, era indispensable que el aire entrara en contacto con el caldo.

No obstante, el italiano **Lázaro Spallanzani** se mostró en desacuerdo con los resultados de Needham y repitió el experimento, con la diferencia de que tapó bien los frascos. Por supuesto, no aparecieron colonias de microorganismos. Así inició una de las disputas científico-religiosas más larga, controversial y reñida.

Needham y Georges Louis Leclerc, Conde de Buffon, un noble francés, se unieron e inventaron una teoría para echar por tierra los descubrimientos de Spallanzani. Postularon que en el aire había una fuerza capaz de crear vida, la cual denominaron “fuerza vegetativa”, y que el calor intenso al que Spallanzani había expuesto los frascos había debilitado dicha fuerza. Para refutar ello, Spallanzani abrió los frascos de su experimento, en donde supuestamente había “debilitado” dicha fuerza y observó que los microorganismos se reprodujeron de nuevo. De ello dedujo que los organismos del exterior, al entrar en contacto con el caldo esterilizado, al poco tiempo volvían a multiplicarse en él.

Con esto probó que no había ninguna “fuerza vegetativa”, y Needham y Leclerc tuvieron que aceptar su derrota.

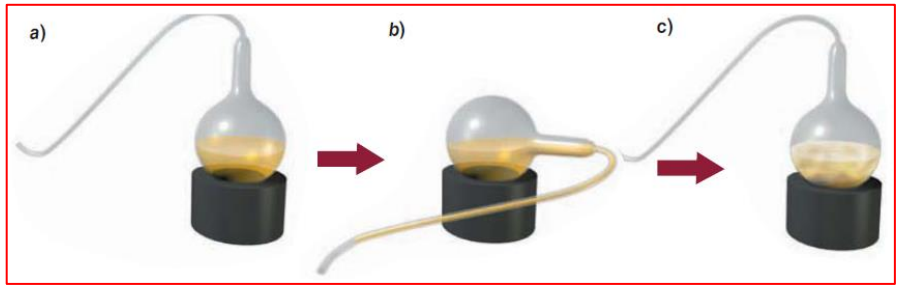
Fig. 1.8. Experimento de Needham y Spallanzani.



Fuente: De Erice, 2012

En el siglo XIX, **Louis Pasteur**, científico francés, refutó definitivamente la teoría de la generación espontánea con un experimento. Utilizó matraces “cuello de cisne”, donde colocó un caldo con nutrientes que hirvió por mucho tiempo. No cerró los matraces y los dejó así por meses, durante los cuales el caldo no sufrió alteraciones; pero bastaba romper los cuellos o inclinar los matraces para que en poco tiempo aparecieran microorganismos. Pasteur concluyó que por la acción del calor mueren todos los microorganismos -lo que dio lugar a la pasteurización- y que no podían aparecer sin contaminación de otros gérmenes del aire, con lo que refutó definitivamente la teoría de la generación espontánea (De Erice, 2012).

Fig. 1.9. Experimento de Pasteur.



Fuente: De Erice, 2012

1.2.2 HIPÓTESIS DE LA PANSPERMIA (COSMOZOICA)

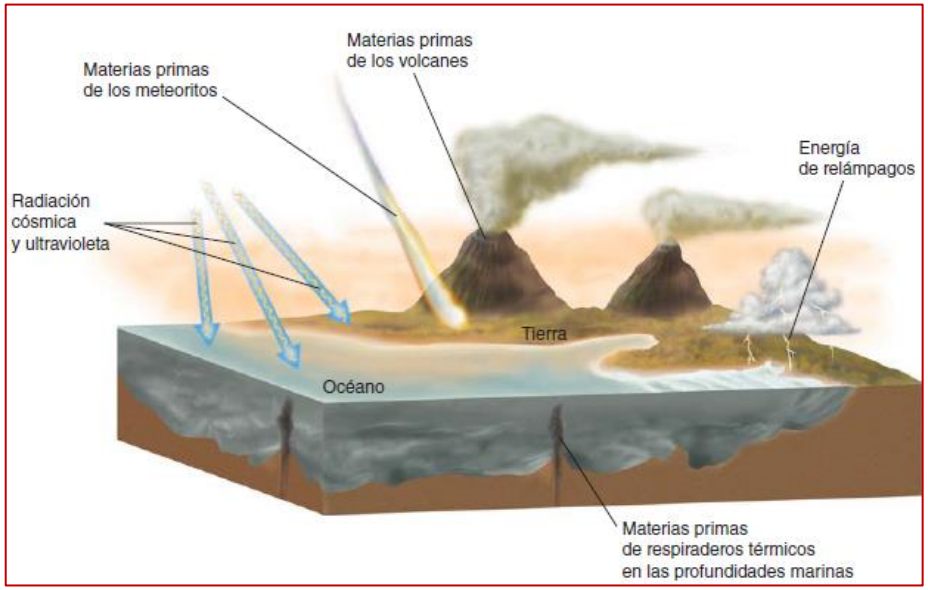
La teoría de la panspermia fue propuesta en 1879 por Herman von Helmholtz, pero en 1908 el químico sueco **Svante Arrhenius**, ganador del premio Nobel de 1903, la popularizó. Según ello, la vida se originó en el espacio y los primeros seres vivos fueron esporas y bacterias que llegaron a la tierra en

meteoritos que chocaron con ella, procedentes de algún planeta donde había vida; luego, las radiaciones solares ayudaron a dispersar esas esporas y bacterias. Pero si éstas provenían de otro planeta, ¿cómo habría nacido la vida en él? Arrhenius no pudo responder a ello.

1.2.3 TEORÍA QUIMIOSINTÉTICA (TEORÍA FÍSICOQUÍMICA)

En 1921, **Alexander Ivanovich Oparin**, bioquímico ruso, concluyó que la formación de los primeros compuestos orgánicos tuvo un origen abiótico y que aquéllos se habían generado a partir de sustancias inorgánicas. Tenía pruebas de que la atmósfera era muy diferente de la actual, ya que no contenía oxígeno libre, sino hidrógeno, metano (CH4) y amoniaco (NH3), lo que la hacía reductora. Tales elementos reaccionaron entre sí gracias a la energía calorífica que provenía del sol, erupciones volcánicas y energía eléctrica de las tormentas eléctricas que -supuso Oparin- eran frecuentes. Todo esto resultó en la formación de compuestos orgánicos disueltos en mares primitivos y éstos, a su vez, originaron a los coacervados, antecesores de las células actuales.

Fig 1.10. Condiciones en la Tierra primigenia



Fuente: Solomon, 2013

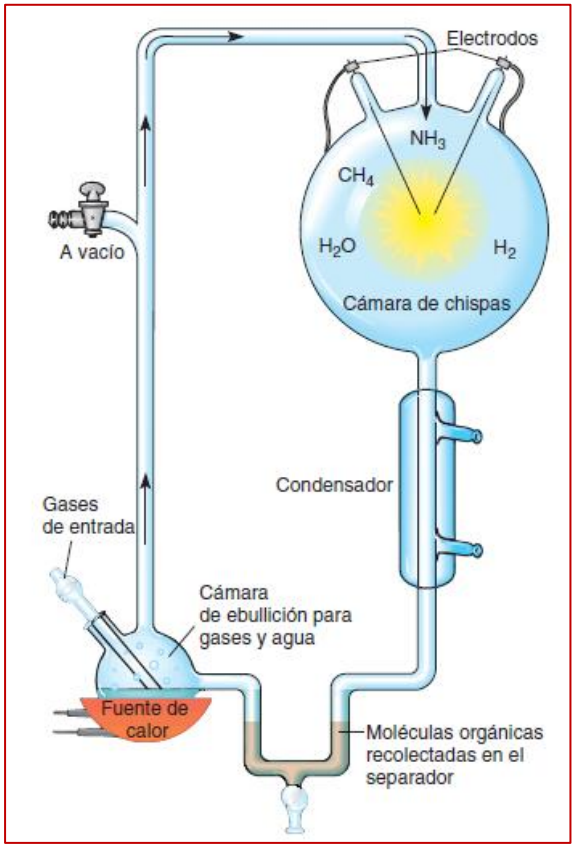
En 1924 **John Haldane** obtuvo conclusiones semejantes a las de Oparin. Indicó que en épocas primigenias la atmósfera estaba formada por bióxido de carbono CO_2, amoniaco (NH_3) y agua (H_2O), pero carecía de oxígeno libre; al reaccionar estos elementos con los rayos ultravioleta (UV) del Sol se había generado una gran cantidad de compuestos orgánicos, entre los

que se encontraban azúcares y aminoácidos, que formaron azúcares más complejos y proteínas que se acumularon lentamente en los mares hasta crear una sopa primigenia, de la que surgieron los primeros seres vivos. La temperatura era más templada y había un pH básico, lo que ayudó a la aparición de los compuestos orgánicos.

Así se construyó la teoría más aceptada hasta el momento sobre el origen de la vida: la teoría fisicoquímica, denominada así porque se basa en la unión de sustancias químicas mediante procesos físicos de la naturaleza; también se le conoce como abiogénesis, que se define como la generación de vida a partir de materia sin vida, o teoría quimiosintética porque sostiene que la vida se origina a partir de las reacciones de las sustancias químicas.

En 1953, **Stanley Miller** y **Harold Urey** simularon en el laboratorio, en un experimento, las condiciones primitivas de la atmósfera y la tierra y obtuvieron lo que hoy constituye uno de los pilares científicos de la biología y que demuestra qué sucedió hace aproximadamente 4000 millones de años.

Fig. 1.11. Aparato que usaron Miller y Urey para simular la atmósfera reductora de la Tierra primitiva

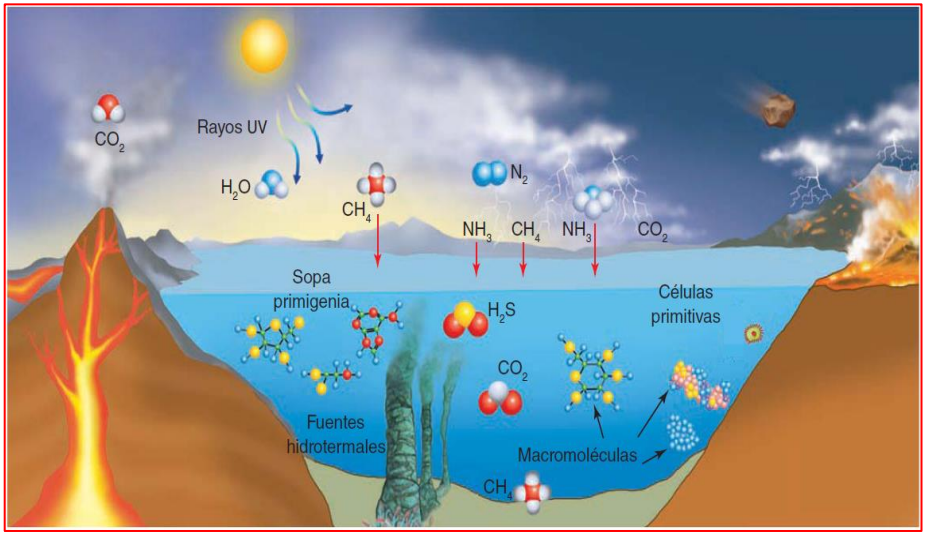


Fuente: Solomon 2013

Diseñaron un tubo que contenía la mayoría de los gases que existían en la atmósfera original y colocaron en un matraz una mezcla de hidrógeno, vapor de agua, amoniaco (NH_3) y metano (CH_4), que imitaba a los mares primitivos. Luego les dispararon, mediante electrodos, descargas eléctricas que simulaban rayos y dejaron el experimento durante una semana.

Después observaron que efectivamente se habían formado aminoácidos como ácido glutámico, ácido aspártico, glicina y alanina, que son componentes de las proteínas de los seres vivos, así como algunos aminoácidos no proteínicos, otros compuestos de alto peso molecular, urea y ácidos grasos, ácido fórmico, acético y propiónico. Una conclusión obtenida del experimento fue que cuando no hubo oxígeno libre en la atmósfera primitiva se formaron compuestos orgánicos; en cambio, con oxígeno sólo se produjeron reacciones de oxidación y no compuestos orgánicos.

Fig. 1.12. Teoría físicoquímica. Fuente: Solomon et al. 2013



Otros científicos emularon también la tierra primitiva, con la atmósfera y la hidrósfera, usando, además de las sustancias empleadas por Miller y Urey, otras como el ácido sulfhídrico (H_2S) de las erupciones volcánicas, ácido cianhídrico (HCN), formaldehído (H_2CO), monóxido de carbono (CO) y muchas más. De estas mezclas surgió también una enorme cantidad de compuestos orgánicos, todos importantes para el desarrollo de la vida: aminoácidos, porfirinas, purinas y pirimidinas, carbohidratos y ATP, entre otras (De Erice, 2012).

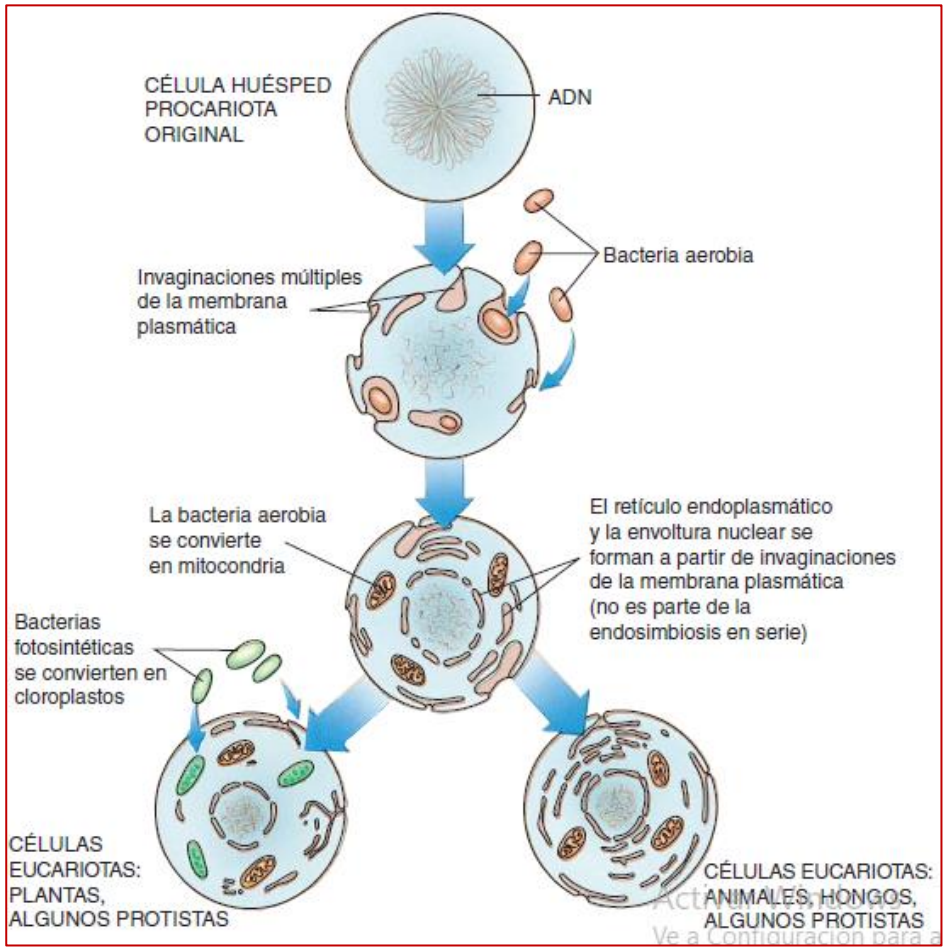
Años después, se ha continuado con estudios y experimentos para seguir descubriendo más evidencias sobre el origen de la vida, aunque las metodologías se han modernizado. Un primer ejemplo es el estudio “Preparación de vesículas a partir de anfifilos no fosfolípidos” (Monard, 2003), donde se indica que sus propiedades son particularmente relevantes para el origen de las membranas de bicapa lipídica, necesarias para las primeras formas de vida celular, y que es muy improbable que los fosfolípidos estuvieran disponibles en el entorno prebiótico, por lo que moléculas más simples, como los ácidos grasos, los alcoholes grasos y los derivados isoprenoides, eran más probablemente los componentes primarios de la membrana. Un segundo ejemplo es el estudio “Las estructuras de membrana prebióticas imitan la morfología de supuestos rastros tempranos de vida en la Tierra” (Jordan et al. 2024).

1.2.4 TEORÍA ENDOSIMBIÓTICA

La teoría endosimbiótica postula que las células eucariontas surgieron a partir de las procariotas. Fue propuesta por **Lynn Margulis** en 1967 y sostiene también que algunas células procariotas perdieron su pared celular, crecieron y ondularon su membrana, lo que dio origen a compartimentos interiores. Esas células modificadas fueron engullidas por otras, procariontas, más grandes, por lo que quedaron encerradas totalmente, lo que las llevó a establecer entre ellas una “cómoda” interrelación (simbiosis). Con el tiempo, las células engullidas se volvieron incapaces de vivir por sí solas y fueron precursoras de organelos celulares, como mitocondrias, cloroplastos y otras estructuras como los flagelos. A las células precursoras de las eucariontas se les llamó urcariotas.

Los datos que apoyan esta teoría son: 1. Las mitocondrias y los cloroplastos tiene su propio ADN, ribosomas y distintos tipos de ARN. Durante la evolución, estos organelos pudieron haberse separado de la célula y sobrevivir como células independientes; 2. Muchas enzimas de las membranas celulares de las mitocondrias están también en bacterias; 3. Las mitocondrias se dividen por fisión binaria a partir de otras mitocondrias, como las bacterias (De Erice, 2012).

Fig. .1.13. Endosimbiosis seriada


CÉLULA HUÉSPED PROCARIOTA ORIGINAL
ADN
Bacteria aerobia
Invaginaciones múltiples de la membrana plasmática
La bacteria aerobia se convierte en mitocondria
El retículo endoplasmático y la envoltura nuclear se forman a partir de invaginaciones de la membrana plasmática (no es parte de la endosimbiosis en serie)
Bacterias fotosintéticas se convierten en cloroplastos
CÉLULAS EUCARIOTAS: PLANTAS, ALGUNOS PROTISTAS
CÉLULAS EUCARIOTAS: ANIMALES, HONGOS, ALGUNOS PROTISTAS

Fuente: Solomon, 2013

1.3 SERES VIVOS

A pesar de su diversidad, los organismos que habitan en nuestro planeta comparten un conjunto de características comunes que los distinguen de las cosas inertes. Estas características incluyen una clase precisa de organización, crecimiento y desarrollo, de metabolismo autorregulado, la capacidad de responder a los estímulos, reproducción y la adaptación al cambio ambiental (Solomon et al. 2011).

1.3.1 CARACTERÍSTICAS

1.3.1.1 Los organismos están compuestos por células

Aunque varían mucho en tamaño y apariencia, todos los organismos consisten de unidades básicas llamadas células. Las nuevas células se forman sólo por división de células previamente existentes. Estos conceptos se expresan en la teoría celular, el cual señala que la célula es la unidad básica de la vida, concepto unificador y fundamental de la biología. (Audesirk et al.2008; Solomon et al. 2013)

Algunas de las formas más simples de vida, como los protozoarios, son organismos unicelulares, lo que significa que

cada uno consta de una sola célula. Por el contrario, el cuerpo de un perro o un árbol de arce están formados de miles de millones de células. En este tipo de organismos multicelulares complejos, los procesos de vida dependen de funciones coordinadas de sus componentes celulares, organizados en forma de tejidos, órganos y sistemas. (Solomon et al. 2013)

Fig. 1.14. organismos unicelulares constan de una compleja organización unicelular

Fuente: Audesirk et al. 2008

Fig. 1.15. Organismos pluricelulares, puede estar formada por millones de células especializadas

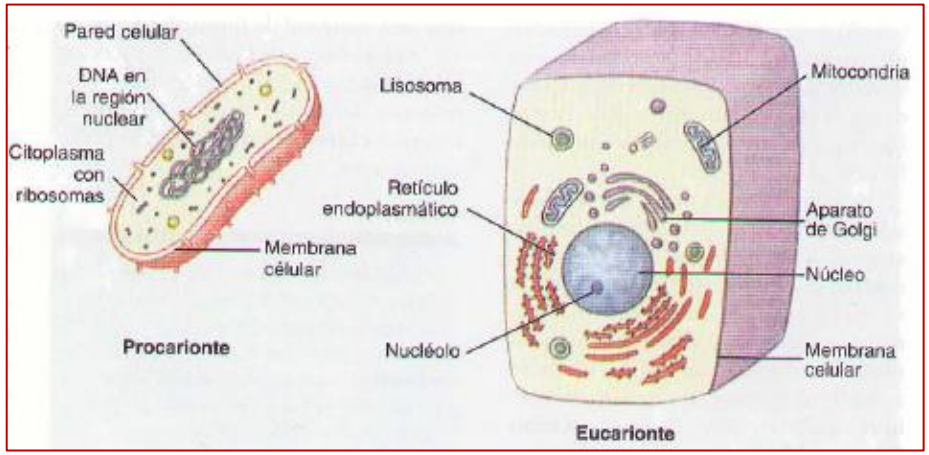
Fuente: Solomon et al. 2013

Cada célula está envuelta por una membrana plasmática que la protege y separa del medio ambiente externo que la rodea. La membrana plasmática regula el paso de materiales entre la célula y su entorno. Las células tienen moléculas especializadas que

contienen instrucciones genéticas y transmiten información genética. En la mayoría de las células, las instrucciones genéticas están codificadas en el ácido desoxirribonucleico, conocido como ADN. Las células poseen estructuras internas llamadas orgánulos u organelos, especializados en funciones específicas. (Solomon et al. 2013)

Existen dos tipos de células: procariotas y eucariotas. Las células procariotas son exclusivas de las bacterias y organismos microscópicos llamados arqueas. Todos los otros organismos se caracterizan por sus células eucariotas. Estas células contienen diversos orgánulos delimitados por membranas, incluyendo un núcleo, con ADN. Las células procariotas son estructuralmente más simples, no tienen un núcleo ni otros orgánulos delimitados por membranas. (Solomon et al. 2013).

Fig.1. 16. Célula procariota y eucariota



Fuente: Hickman et al. 2016

1.3.1.2 Los organismos crecen y se desarrollan

El crecimiento biológico implica un aumento en el tamaño y volumen de las células individuales de un organismo, en el número de células, o en ambos. El crecimiento puede ser uniforme en las diversas partes de un organismo, o puede ser mayor en algunas partes que en otras, haciendo que las proporciones del cuerpo cambien a medida que se produce el crecimiento. (Solomon et al. 2013).

También, algunos organismos, como la mayoría de los árboles, continúan creciendo durante toda su vida. Muchos animales tienen un período de crecimiento definido que termina cuando se alcanza el tamaño característico de adulto. Un aspecto interesante del proceso de crecimiento es que cada parte del organismo sigue funcionando normalmente mientras crece.

Los organismos vivos se desarrollan conforme crecen. El desarrollo incluye todos los cambios que tienen lugar durante la vida de los organismos. Al igual que muchos otros organismos, cada ser humano comienza su vida como un huevo fertilizado, que crece y se desarrolla. Las estructuras y la forma del cuerpo que se desarrollan están delicadamente adaptadas a las funciones que el organismo debe realizar. (Solomon et al. 2013).

1.3.1.3 Los organismos regulan sus procesos metabólicos

Dentro de todos los organismos, se realizan reacciones químicas y transformaciones de energía que son esenciales para la nutrición, el crecimiento y la reparación de las células, y la conversión de energía en formas útiles. La suma de todas las actividades químicas del organismo es su metabolismo.

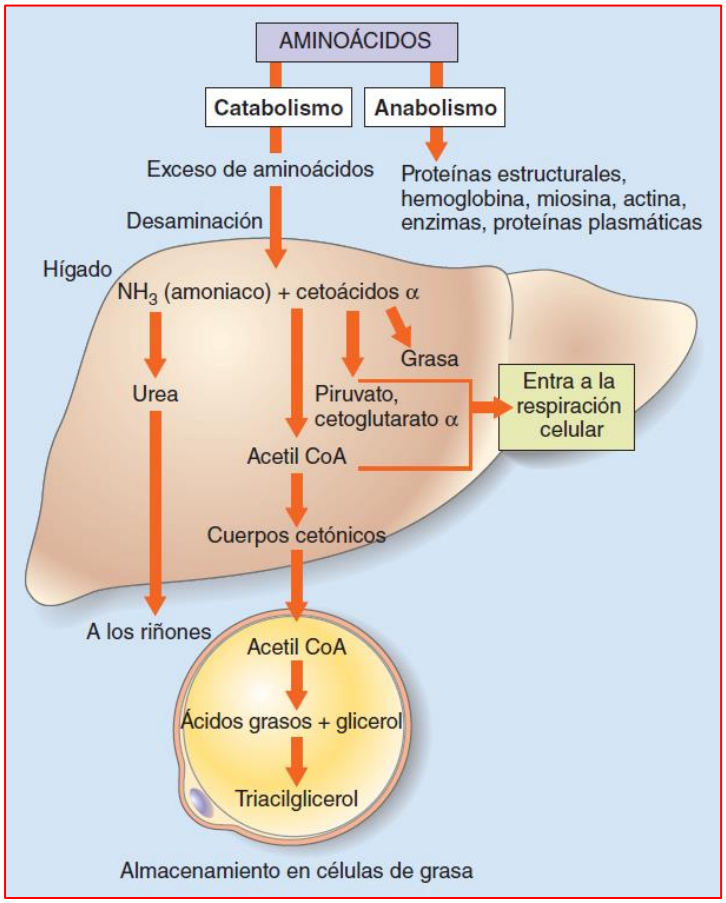
Es así que, los procesos metabólicos ocurren de manera continua en todos los organismos, y deben ser cuidadosamente regulados para mantener la homeostasis, un ambiente interno adecuado y equilibrado. Cuando se ha elaborado una cantidad suficiente de un producto celular, se debe disminuir o suspender su producción. Cuando se requiere una sustancia en particular, se deben activar los procesos celulares que la producen. Estos mecanismos homeostáticos son sistemas de control de autorregulación que son muy sensibles y eficientes.

El anabolismo y el catabolismo son las dos principales rutas del metabolismo. El anabolismo incluye las diversas rutas en las que se sintetizan moléculas complejas a partir de sustancias más simples, como la unión de aminoácidos para formar proteínas. El catabolismo incluye las rutas en las que grandes moléculas se dividen en moléculas más pequeñas, como en la degradación de almidón para formar monosacáridos. Esos cambios no sólo implican alteraciones en la organización atómica, sino que también en varias transformaciones energéticas.

En resumen, el metabolismo tiene dos componentes complementarios: el catabolismo, que libera energía mediante la

división de las moléculas complejas en componentes más pequeños, y el anabolismo, la síntesis de moléculas complejas a partir de bloques de construcción más simples. Las reacciones anabólicas sintetizan proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, polisacáridos y otras moléculas que ayudan al mantenimiento de la célula o el organismo. La mayoría de las reacciones anabólicas requieren de ATP o de alguna otra fuente de energía que las impulse (Solomon et al. 2011).

Figura 1.17. Metabolismo de las proteínas en el hígado.



Fuente: Solomon et al. 2011

A Saber, la regulación de la concentración de la glucosa en la sangre de los animales complejos es un buen ejemplo de un

mecanismo homeostático. Sus células requieren un suministro constante de moléculas de glucosa, que se desdobla o rompe para obtener energía. El sistema circulatorio proporciona glucosa y otros nutrientes a todas las células. Cuando la concentración de glucosa en la sangre se eleva por encima de los límites normales, el exceso de glucosa se almacena en el hígado y en las células musculares en forma de glucógeno. Si usted no come durante unas cuantas horas, la concentración de glucosa empieza a bajar. Su cuerpo convierte los nutrientes almacenados en glucosa, regresando los niveles normales de glucosa en la sangre. Cuando la concentración de glucosa disminuye, usted siente hambre y al comer se restauran los nutrientes.

1.3.1.4 Los organismos responden a estímulos

Todas las formas de vida responden a estímulos (cambios físicos o químicos en su ambiente interno o externo). Los estímulos que provocan una respuesta en la mayoría de los organismos por medio de receptores. Un **receptor** es una estructura molecular o celular que responde a una forma específica de estimulación, tal como la energía de la luz o la energía mecánica de una mordida. Responder a estímulos implica movimiento, aunque no siempre locomoción. (Audesirk et al. 2008; Solomon et al. 2013)

Fig. 1.18. Rugiente respuesta a las señales generadas por los receptores de dolor activadas por la mordida de un cachorro de león

Fuente: Stark 2013

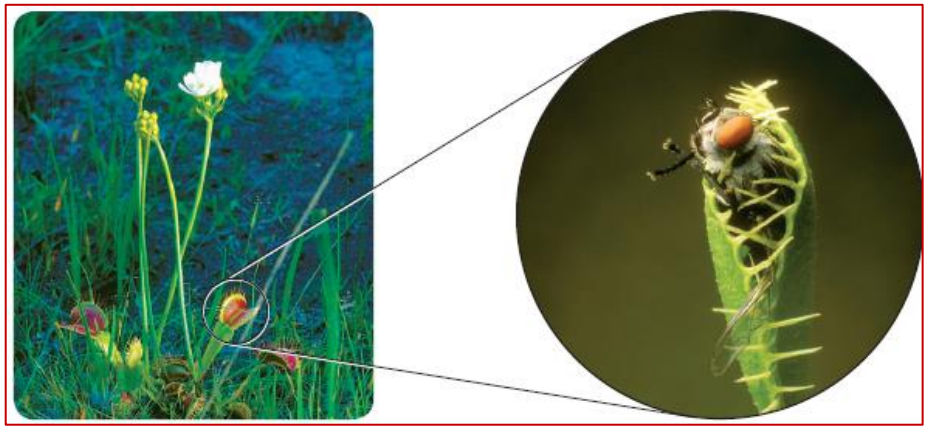
En **organismos simples**, el individuo entero puede ser sensible a los estímulos. Ciertos organismos unicelulares, responden a la

luz brillante retirándose. En algunos organismos, la locomoción se logra mediante la lenta formación de prolongaciones o seudópodos de la célula, el proceso de movimiento ameboide. Otros organismos se mueven batiendo las diminutas extensiones pilosas de la célula llamadas cilios o de estructuras más grandes conocidas como flagelos. Algunas bacterias se mueven haciendo rotar sus flagelos. (Solomon et al. 2013)

Los animales complejos, como saltamontes, lagartos, y seres humanos, tienen células altamente especializadas que responden a tipos específicos de estímulos. Por ejemplo, las células de la retina del ojo de vertebrados responden a la luz. (Solomon et al. 2013)

Aunque las respuestas pueden no ser tan obvias como las de los animales, las plantas responden a la luz, a la gravedad, al agua, al tacto, y otros estímulos. Por ejemplo, todas las plantas orientan sus hojas hacia el sol y crecen hacia la fuente de luz. Muchas de las respuestas de las plantas implican diferentes tasas de crecimiento de varias partes del cuerpo de la planta. (Solomon et al. 2013)

Fig.1.19. Respuesta de la planta atrapa moscas para obtener comida



Fuente: Brigg et al. 2012

1.3.1.5 Los organismos se reproducen

Los organismos se reproducen dando origen a descendientes del mismo tipo y permite la continuidad de la vida. Los procesos para que ello ocurra varían, pero el resultado es el mismo: la perpetuación de los genes de los progenitores (Audesirk et al. 2012)

Es así que, los organismos simples, como las amebas, se perpetúan por reproducción asexual. Cuando una ameba ha crecido hasta un tamaño determinado, se reproduce dividiéndose a la mitad para formar dos nuevas amebas. Antes de que se divida una ameba, su material hereditario (conjunto de genes) se duplica, y un conjunto completo se distribuye en cada nueva célula. Excepto por el tamaño, cada nueva ameba es similar a la célula progenitora. La única manera de que se produzca la variación en un organismo de reproducción asexual es por mutación genética, un cambio permanente en los genes. (Solomon et al. 2013)

En la mayoría de las plantas y animales, la reproducción sexual se lleva a cabo por la fusión de un óvulo y un espermatozoide para formar un óvulo fecundado. El nuevo organismo se desarrolla a partir del óvulo fecundado. Los descendientes producidos por la reproducción sexual son el resultado de la interacción de varios genes aportados por la madre y el padre. Esta variación genética es importante en los procesos vitales de la evolución y la adaptación. (Solomon et al. 2013)

1.3.1.6 Las poblaciones evolucionan y se adaptan al medio ambiente

La capacidad de una población para evolucionar durante muchas generaciones y adaptarse a su entorno les permite sobrevivir en un mundo cambiante. Las adaptaciones son características que se heredan y que aumentan la capacidad de un organismo para sobrevivir en un entorno particular. La lengua larga y flexible de la rana es una adaptación para capturar insectos, las plumas y los huesos livianos de los pájaros son adaptaciones para volar, y la gruesa cubierta del pelo del oso polar es una adaptación para sobrevivir a las gélidas temperaturas.

Las adaptaciones pueden ser estructurales, fisiológicas, bioquímicas, de comportamiento, o una combinación de las cuatro. Todos los organismos biológicamente exitosos son una compleja colección de adaptaciones coordinadas que se han producido a través de los procesos evolutivos. (Solomon et al. 2013).

1.3.1.7. los seres vivos mantienen sus homeostasis:

No es fácil mantener estructuras complejas y bien organizadas. Los organismos para conservarse vivos y funcionar con eficacia deben mantener relativamente las condiciones internas de su cuerpo, este proceso se denomina Homeostasis (deriva de los vocablos griegos que significan mantener igual). Los organismos deben regular compresión la cantidad de agua y sal dentro de sus células. Sus cuerpos también deben de mantenerse a temperaturas adecuadas para que cumplan sus funciones biológicas. (Audesirk et al. 2013)

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

1.3.2.1 Sistemática y taxonomía

Las ramas de la biología que son responsables de la categorización jerárquica son la sistemática y la taxonomía. La sistemática se ha encargado de crear a lo largo del tiempo sistemas de clasificación en los cuales se toman en cuenta los rasgos de similitud, diferencias, origen y relaciones evolutivas de cada especie, con criterios objetivos y no arbitrarios. Los sistemas de clasificación se representan en forma de árbol ramificado, en cuya base se identifica al ancestro y en las ramas la descendencia de las especies que contiene. Por su parte, la taxonomía se encarga de poner las reglas y procedimientos para identificar, nombrar (nomenclatura) y clasificar a cada una de las especies en las categorías o niveles de forma jerárquica, siguiendo los patrones de la sistemática (De Erice, 2012).

1.3.2.2 Sistemas de clasificación científica

Los biólogos trabajan con varios sistemas de clasificación, como los siguientes: (De Erice, 2014).

- **Sistemas artificiales:** Son aquellas clasificaciones en las que se elige una serie de caracteres de forma arbitraria como principales, determinados por el autor; como el número de piezas florales, la forma de desarrollo, el lugar donde vive y el tipo de comida ingerida, es decir, caracteres de utilidad y no taxonómicos. Los sistemas que utilizaron los griegos o Linneo son claros ejemplos.
- **Sistemas naturales:** En los sistemas naturales los caracteres también se eligen arbitrariamente, pero se tiene en cuenta un mayor número de ellos; además, se utilizan caracteres taxonómicos básicos como rasgos anatómicos para determinar si dos organismos son parientes cercanos o no, con lo que se establece la

filogenia de los grupos. Algunos ejemplos son los creados por Lynn Margulis, Haeckel y Whittaker. En los sistemas naturales hay métodos de clasificación:

- **Métodos filogenéticos:** Se dieron a partir de la teoría de la evolución, en la que se ordenan los organismos por su parentesco genealógico (ancestro-descendiente) con el fin de establecer la relación jerárquica entre especies, familias, órdenes, etcétera. Se presentan mediante árboles filogenéticos: en la base está el ancestro y en las ramas los descendientes.
- **Métodos fenéticos:** Son clasificaciones basadas en semejanzas morfológicas generales entre los organismos. Sus árboles se llaman fenogramas, ya que reconocen que el parecido fenotípico de las especies puede no representar a un ancestro en común. Este método plantea muchos problemas; sin embargo, los fenetistas mencionan que, si se toman en cuenta muchos caracteres, los problemas disminuyen. Este método ha sido sustituido por el método cladista.
- **Métodos cladistas:** El cladismo se basa en el principio de parsimonia, que propone que ante dos hipótesis evolutivas es más probable que sea cierta aquella que no tiene tantos cambios evolutivos, pues la naturaleza tiende siempre a lo simple. El cladismo representa la formación de linajes independientes a partir de un ancestro en común, considerando tanto las relaciones de parentesco como la similitud fenotípica general, tomando en cuenta sólo a los grupos monofiléticos. La clasificación se representa en cladogramas, por ejemplo, la construida por Woese.
- **Sistemas moleculares:** Se basan en la utilización de distintas técnicas moleculares para la reconstrucción filogenética y la clasificación sistemática, como el análisis de algunas proteínas como el citocromo c. A mayor número de aminoácidos diferentes, mayor cambio evolutivo a partir de un ancestro común.

1.4 CATEGORÍAS TAXONÓMICAS (NIVELES TAXONÓMICOS)

1.4.1 CATEGORÍAS TAXONÓMICAS

Los diferentes niveles de la jerarquía taxonómica se llaman categorías taxonómicas, cada una tiene grupos de organismos que se llaman unidades taxonómicas o taxa. El taxón es una

unidad taxonómica de cualquier categoría. El latín taxa es plural de taxón. Las categorías taxonómicas son:

a) **Dominio:** Conjunto de reinos.

b) **Reino:** Conjunto de fila o divisiones.

c) **Filo o Phylum:** Conjunto o agrupamiento de clases. El Phylum se utiliza para todas las clases de organismos que no pertenecen a las plantas. Su equivalente es División (Conjunto o agrupación de clases. Esta categoría taxonómica sólo se usa para las plantas).

d) **Clase:** Conjunto o agrupación de órdenes.

e) **Orden:** Conjunto o agrupación de familias.

f) **Familia:** Conjunto o agrupación de géneros.

g) **Género:** Conjunto o agrupación de especies.

h) **Especie:** Conjunto o agrupación de organismos.

A veces no es suficiente con estas categorías taxonómicas para poder colocar un organismo en su lugar, y es necesario crear algunas subdivisiones intermedias entre las categorías, las cuales se nombran con el prefijo sub- como suborden o con el prefijo super-, como superfamilia. Las categorías o taxa se encuentran en una jerarquía que va en orden ascendente de la especie (categoría de menos jerarquía, con características muy particulares) hasta el dominio (taxón de mayor jerarquía, con características muy generales). La unidad en la que se basa toda clasificación es la especie, que es el conjunto de individuos con características estructurales y funcionales parecidas, que en la naturaleza se pueden cruzar, tener descendencia fértil y que comparten un ancestro común (De Erice, 2012).

Fig. 1.8. Niveles taxonómicos.

Categoría	Gato	Humano	Roble blanco
Dominio	Eukarya	Eukarya	Eukarya
Reino	Animalia	Animalia	Plantae
Filo	Chordata	Chordata	Anthophyta
Subfilo	Vertebrata	Vertebrata	Ninguno
Clase	Mammalia	Mammalia	Eudicotyledones
Orden	Carnívora	Primates	Fagales
Familia	Felidae	Hominidae	Fagaceae
Género	*Felis*	*Homo*	*Quercus*
Especie	*Felis catus*	*Homo sapiens*	*Quercus alba*

Fuente: Solomon et al. 2011

1.4.2 NOMBRE CIENTÍFICO

El nombre científico está formado por dos palabras, el género y la especie, con base en el sistema binomial de Linneo, y debe tener varias características:

a) Debe escribirse con letras cursivas o subrayadas.

b) En el primer nombre, que es el género, se escribe la primera letra con mayúscula y las demás en minúsculas.

c) El segundo nombre, que es la especie, va en minúsculas.

d) Después del nombre científico se debe colocar entre paréntesis el apellido del autor que lo descubrió; un ejemplo: la L es de Linneo: se coloca sólo la L porque todos saben que es de Linneo (ésa es la excepción a la regla) los nombres de los descubridores de taxones o especies sólo se escriben en textos científicos.

1.4.3 FILOGENIA Y ONTOGENIA

a) **Filogenia:** La filogenia se puede definir como la historia evolutiva de las especies a partir de un antepasado común. Presenta la relación existente entre especies, géneros, familias, órdenes, clases, etcétera, con base en la morfología, citología, biología molecular y en registros fósiles.

b) **Ontogenia:** Estudia el desarrollo de los seres vivos desde la etapa embrionaria hasta su muerte.

Haeckel propuso la Ley Biogenética en 1866, ahí mencionó que la ontogenia recapitulaba a la filogenia, es decir, que las etapas de evolución de una especie eran recordadas durante el breve tiempo que dura el desarrollo embrionario de un individuo de esa misma especie. En ese momento resultó ser una idea original e innovadora, la cual gozó de éxito hasta el último tercio del siglo XX; sin embargo, en la actualidad los biólogos son muy cautos con la palabra “recapitular”, prefieren decir que las características embrionarias son conservadas y pasadas a las siguientes generaciones durante la evolución de la especie.

En consecuencia, la evolución se representa mediante árboles filogenéticos. En la base del árbol se coloca al antepasado común a todos los organismos, de esa base parten varias ramas, de las cuales salen ramas más delgadas, hasta llegar a las ramas más pequeñas y delgadas donde se colocan las especies actuales (De Erice, 2012).

1.4.4 HISTORIA DE L TAXONOMÍA

1.4.4.1. CARLOS LINNEO

De los muchos sistemas de clasificación que se desarrollaron, el que diseñó Carlos Linneo a mediados del siglo XVIII sobrevive en la actualidad con algunas modificaciones. Linneo agrupó a los organismos de acuerdo con sus semejanzas, principalmente las estructurales.

Antes de mediados del siglo XVIII, cada especie tenía un nombre descriptivo muy largo, que en ocasiones consistía de diez o más palabras en latín. Linneo simplificó la clasificación científica y desarrolló un sistema binomial de nomenclatura en el que a cada especie se le asignaba un nombre único de dos partes. La primera parte de un nombre científico binomial es un sustantivo que designa el género, y la segunda parte es un adjetivo que modifica al sustantivo y se llama epíteto específico.

Así, Linneo diseñó un sistema para asignar a las especies a una jerarquía de grupos cada vez más amplios. Conforme se sube por la jerarquía, cada grupo es más incluyente; esto es, incluye a los grupos abajo de él. Cuando estableció su sistema, Linneo no tenía en mente una teoría de la evolución. Tampoco tenía una idea del gran número de organismos existentes (vivientes) y extintos que se descubrirían más tarde. Sin embargo, su sistema ha probado ser notablemente flexible y adaptable a los nuevos conocimientos y teorías biológicos. Pocos inventos del siglo XVIII sobreviven en la actualidad en una forma que sus creadores podrían reconocer.

1.4.4.2. ROBERT WHITAKKER

En la década de 1960, los avances en microscopia electrónica y técnicas bioquímicas revelaron más diferencias celulares que inspiraron muchas nuevas propuestas para la clasificación de los organismos. En 1969, R. H. Whittaker propuso una clasificación de cinco reinos con base principalmente en la estructura celular y la forma en que los organismos obtienen nutrientes de su ambiente.

Whittaker sugirió que los hongos (que incluyen setas, mohos y levaduras) se removieran del reino vegetal y se clasificaran en su propio reino, Fungi. Después de todo, los hongos no son fotosintéticos y deben absorber nutrientes producidos por otros organismos. Los hongos también difieren de las plantas en la composición de sus paredes celulares, en sus estructuras

corporales y en sus modos de reproducción. El reino Prokaryotae se estableció para alojar a las bacterias, que son diferentes de todos los demás organismos en que no tienen núcleos distintivos ni otros organelos membranosos y no experimentan división mitótica. (Solomon et al. 2013)

1.4.4.3. CARL WOESE

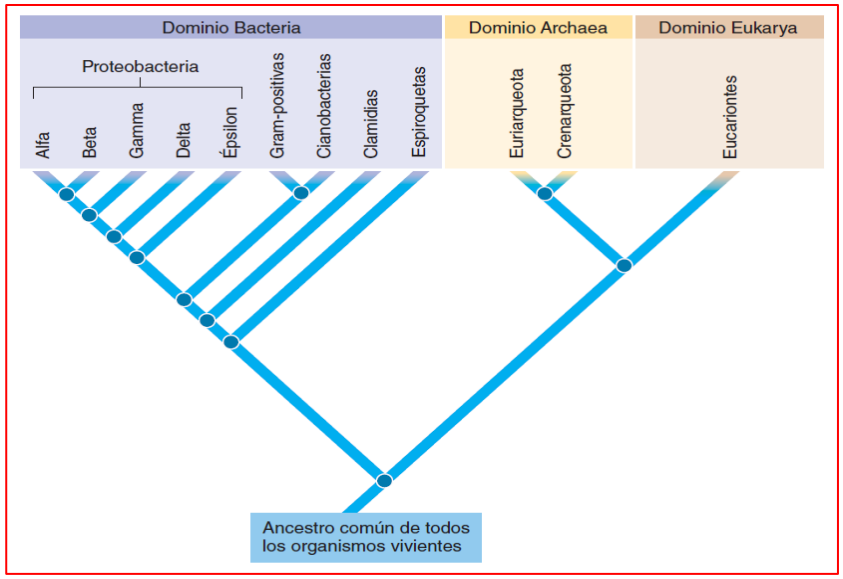
A finales de la década de 1970, Carl Woese, de la Universidad de Illinois, empezó a estudiar las relaciones evolutivas entre los organismos al analizar su ARNr 16S. Mediante análisis de secuencias, Woese usó variaciones en esta molécula universal para desafiar la visión largo tiempo sostenida de que todos los procariotas están cercanamente emparentados y son muy parecidos. Él demostró que existen dos grupos diferentes de procariotas: arqueas y bacterias. Woese argumentó que los procariotas representan dos de las tres ramas principales de los organismos. (Solomon et al. 2013)

La hipótesis de Woese ganó apoyo en 1996, cuando Carol J. Bult, del Instituto de Investigación Genómica en Rockville, Maryland, reportó en la revista Science que ella y sus colaboradores secuenciaron el genoma completo de una arquea productora de metano, *Methanococcus jannaschii*. Cuando los investigadores compararon las secuencias génicas con las de dos bacterias secuenciadas antes, descubrieron que coincidían menos de la mitad de los genes. La secuencia genética indica que las arqueas tienen una combinación de genes parecidos a los de las bacterias y los eucariotas. Los biólogos han identificado otras importantes diferencias entre bacterias y arqueas; por ejemplo, las bacterias se caracterizan por la presencia de peptidoglicano en sus paredes celulares, mientras que este compuesto no está presente en las arqueas. Con base en evidencia molecular, los biólogos ahora dividen a los procariotas en dos grandes grupos: Bacteria y Archaea. (Solomon et al. 2013)

La clasificación propuesta por Carl Woese, aunque no es la más actual, es la que prevalece y está en uso para la clasificación de los seres vivos en los diferentes niveles taxonómicos. Esta clasificación toma en cuenta muchas características fundamentales como: características anatómicas, funcionales, bioquímicas, inmunológicas y genéticas (hibridación del ADN o ARNr de los organismos), sus relaciones con otros organismos

que tienen características en común y diferencias, así como la evolución y filogenia de cada especie (Solomon et al. 2013).

Fig. 1.20. Tres dominios.



Fuente: Solomon et al. 2011

1.5 DOMINIO ARCHAEA

Son llamadas arqueobacterias del griego Arkhaios, que significa antiguo; también se les conoce como extremófilas por vivir en ambientes extremos. Son muy primitivas.

1.5.1 EXTREMÓFILOS

Características: Son procariontas, es decir, el ácido nucleico está distribuido por el citoplasma en una zona al azar llamada nucleoide y no encerrado dentro de una membrana nuclear. Son organismos unicelulares, la mayoría heterótrofos, que se alimentan de cualquier sustancia orgánica; también hay autótrofos. Poseen lípidos diferentes a los de las membranas celulares de los eucariontes y de las bacterias. Las secuencias que tiene el ARNr en la subunidad pequeña del ribosoma son únicas y específicas. Se encuentran distribuidas en lugares donde las condiciones son extremas y sobreviven en áreas muy contaminadas. Algunas archaeas son anaerobias obligadas, otras son aerobias. Su nombre proviene de su hábitat:

a) **Termófilas:** Se encuentran en fumarolas marinas, depósitos de petróleo caliente, volcanes, fuentes termales, lugares con temperatura mayor a 100 °C.

b) **Acidófilas:** Se encuentran en lugares con pH ácido.

c) **Metanógenas**: Se encuentran en espacios carentes de oxígeno y ricos en materia orgánica, generan metano en estómagos de rumiantes y pantanos.

d) **Halófilas:** Habitan en espacios con grandes concentraciones de sal, como lagos salados naturales, salinas, preparaciones de sal caseras para conservación de productos cárnicos, en el mar Muerto, etc. Requieren entre 12 y 23% de sal para un crecimiento óptimo.

De acuerdo con las secuencias moleculares, están más relacionadas filogenéticamente con el dominio Eukarya que con el Bacteria. Se ha podido determinar mediante estudios realizados en el ARNr 16s, que han tenido un ritmo bajo de evolución con respecto a las bacterias y los eucariontes.

Las archaeas comparten características con las bacterias: su tamaño varía de 0.5 a 5 micras; presentan formas de bastones, cocos y espirilos; se reproducen asexualmente por fisión; su genoma es de tamaño 2-4 mbp (millones de bases de polipéptidos). El ADN único, circular y con plásmidos. Este dominio tiene dos phylum diferenciados por el tipo de ARN y por el ambiente en que viven:

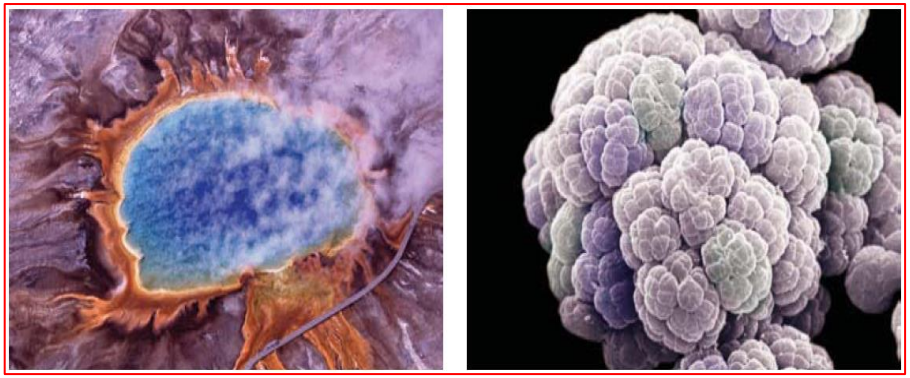
a) **Crenarchaeota:** Son archaeas termófilas, dependientes del sulfuro y constituyen un grupo muy homogéneo; algunas especies de este grupo son *Sulfolobus solfataricus, Thermofilum pendens* y *Thermoproteus tenas.*

b) **Euryarchaeota:** Son archaeas metanógenas y halófilas y son un grupo muy heterogéneo. Algunas especies: *Thermococcus celer, Methanococcus thermolithotropicus, Methanobacterium formicicum, Thermoplasma acidophilum*.

Importancia: Las archaeas son detectores de contaminación. Se utilizan en el tratamiento de aguas residuales. Son fuente de la enzima taq polimerasa, que se utiliza en la reacción en cadena de la polimerasa.

Las archaeas metanógenas son habitantes del rumen de rumiantes, y responsables de la producción de gas metano en el excremento de estos mamíferos, uno de los gases principales causantes del efecto invernadero (De Erice, 2012).

Fig. 1.21. Archaeas.



Fuente: De Erice, 2012

1.6 DOMINIO EUKARYA

1.6.1 REINO PROTISTA

Este reino lo constituyen organismos eucariontes, unicelulares como pluricelulares, con mínimas características similares a los organismos pertenecientes a los reinos Fungi, Plantae y Animalia. La mayor parte de sus rasgos no son compatibles con ellos; ésta es la razón por la que se colocan en un reino aparte. Son autótrofos y heterótrofos (parásitos y saprofitos), con reproducción principalmente asexual (De Erice, 2012).

1.6.1.1 Algas

Las algas son organismos unicelulares y pluricelulares; las unicelulares forman colonias. En términos generales, son semejantes a las plantas y antiguamente se les clasificaba dentro del reino vegetal. Son organismos autótrofos y se reproducen asexualmente mediante esporulación y sexualmente por medio de conjugación.

Tienen gran diversidad de colores (rojas, pardas, verdes, doradas, cafés), formas y tamaños. Hay variedades de agua dulce y salada. La mayoría son microscópicas, como *Surirella*; sin embargo, hay algunas que forman poblaciones de gran tamaño, formando verdaderos bosques en el fondo del mar, como *Macrocystis*, que se encuentra en el mar de los Sargazos. Algunas algas usan como medio de locomoción uno o más flagelos, otras son de vida libre y otras más se fijan al fondo del mar o a las rocas mediante una estructura llamada rizoide.

En el mundo se han contado aproximadamente 110 000 especies, las cuales se congrega en seis grupos: Clorophytas o algas verdes, Phaeophytas o algas pardas, Rodophytas o algas rojas, Pyrrophytas o dinoflagelados (algunos son bioluminiscentes), Chrysophytas o diatomeas y Euglenophytas o euglenas.

Su forma es muy variada: esféricas, alargadas o fusiformes, onduladas, de hojas de lechuga, de plumero, espirales, etc.

Importancia: Las algas forman parte del plancton y son la base de las cadenas alimenticias marinas; además, generan el porcentaje más alto de oxígeno a través de la fotosíntesis. En muchas culturas del mundo, las algas se han utilizado como alimento, pues son una fuente importante de proteínas y vitaminas y son de fácil digestión.

Actualmente se emplean para fabricar medicamentos y de ellas se extraen yodo, sosa y otros compuestos químicos. Se usan en la acuacultura ya que aceleran el crecimiento y madurez sexual, así como estimulan la ovulación y la reproducción sexual de moluscos y peces. Se usan como fertilizantes, medios de cultivo y para espesar helados, quesos cremosos, sopas, salsas y yogur (De Erice, 2012).

1.6.1.2 Protozoarios

Son organismos eucariontes y unicelulares; algunos viven en colonias. Comparten algunas características con los animales (tienen movilidad, son heterótrofos, etc.); por ello alguna vez fueron clasificados en el reino animal. Aproximadamente se conocen 45 000 especies, son cosmopolitas y viven en los más variados ambientes.

Tienen formas muy diversas, como foraminíferos, radiolarios y heliozoarios. La gran mayoría son microscópicos. Son heterótrofos, parásitos y de vida libre. Su reproducción es asexual de tipo fisión binaria y fisión múltiple, bipartición y gemación. Algunas especies se reproducen sexualmente por conjugación, singamia y autogamia. Poseen diversas formas de locomoción: algunos presentan seudópodos o “falsos pies”, otros tienen cilios y flagelos y otros más son sésiles.

Los protozoarios se agrupan en Sarcomastigophora (flagelados), Sarcodina (amibas, radiolarios, foraminíferos y heliozoarios), Apicomplexa o Sporozoarios (sésiles como *Toxoplasma* y *Plasmodium*) y Ciliophora (ciliados). Algunos ejemplos son los *Paramecium* (ciliado), *Trypanosoma cruzi, T. gambiense*, *T. rhodesiense* (flagelados) y *Entamoeba histolytica* (sarcodinos).

Importancia: Los protozoarios forman parte de las cadenas alimenticias y contribuyen a la fertilidad del suelo. Causan enfermedades a plantas, animales domésticos y al hombre. Algunos son benéficos, como Hypermastigida, protozoario presente en las termitas que les ayuda a digerir la celulosa.

1.6.1.3 Mohos

Los mohos son organismos parecidos a los hongos; por ello alguna vez estuvieron clasificados en el reino Fungi; sin embargo, presentan más diferencias, lo que los hace pertenecer a un reino aparte, por ejemplo, presentan una pared celular de glucanos y celulosa y no de quitina como los hongos. Son organismos unicelulares, heterótrofos, que absorben el alimento

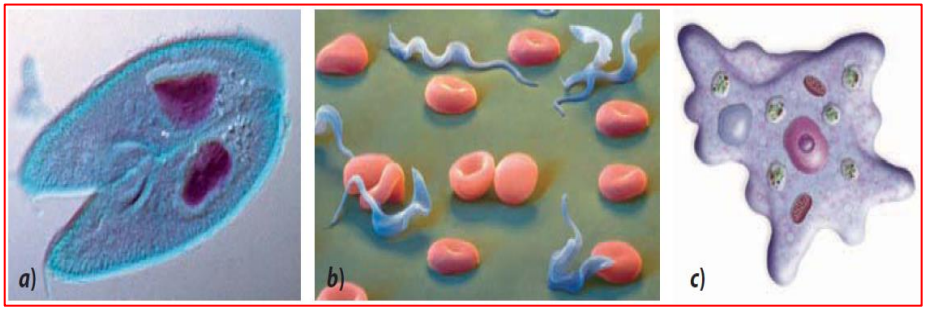
del suelo o de los tejidos de algunos organismos. Presentan reproducción asexual por esporulación.

Son cosmopolitas, de tamaño reducido, habitan en lugares húmedos, fríos y sombreados de bosques, sobre troncos en descomposición, hojas muertas y materia orgánica en descomposición. Crecen como una masa mucilaginosa sobre la tierra, formando una estructura llamada plasmodio, que no son células individuales, sino núcleos cubiertos por una fina capa. De colores vistosos como el género *Physarum.*

Existe otro tipo de mohos, que, en lugar de formar plasmodios, forman seudópodos, que atraen células cercanas y forman una gran masa llamada seoduplasmodio, ya que se compone de células individuales, sólo que agregadas para constituir a la larga un cuerpo fructífero que produce esporas para la reproducción. Se agrupan en Myxomycota (mohos plasmodiales), Oomycota (mohos acuáticos), Acrasiomycota (mohos celulares) y Chytridiomycota (mohos acuáticos quitridios).

Importancia: Algunos causan enfermedades en plantas, como el mildiu de la vid o la roya tardía de la papa. Son degradadores de la materia orgánica (De Erice, 2012).

Fig. 1.22. Protozoarios



Fuente: Solomon et al. 2011

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

1. Audesik, T., Audesick, G., & Byers, B. (2012). *Biología: la vida en la tierra*. Pearson Educación, S. A.
2. Brigg, A., Rogers, W. D., Sewer, M. B., Zike Biggs, D., Hagins, W. C., Holliday, W. G., Kapicka, C. L., Lundgren, L., & MacKenzie, A. H. (2012). *Biología: Ciencias de Gencloe*. McGraw-Hill Education.
3. Curtis, H., Barnes, N., Massarini, A., & Schnerck, A. (2008). *Biología*. Editorial Médica Panamericana.
4. De Erice, E., & González, J. (2012). *Biología: La ciencia de la vida*. McGraw-Hill / Interamericana Editores S. A.

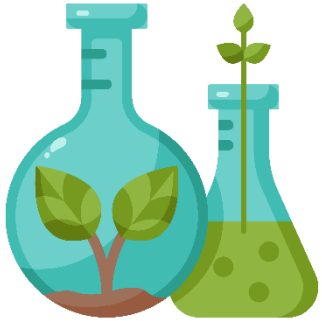
5. Krause, S. (2019). *Historia de la biología*.
6. Freeman, S. (2009). *Biología*. Pearson Educación, S. A.
7. Mader, S., & Wildenspecht, M. (2019). *Biology*. McGraw-Hill Education.
8. Solomon, E. P., Berg, L. R., & Martin, D. W. (2013). *Biología*. Cengage Learning Editores, S. A.
9. Stark, C., Taggart, R., Evers, C., & Stark, L. (2009). *Biología: La unidad y la diversidad de la vida*. Cengage Learning Editores, S. A.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. Ahad, M., Garcia, Gamboa. (2012). Evolution of first life without Oparin (primordial soup) theory of evolution: A critical review. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management*.
2. Cabej, N. R. (2012). Species and allopatric speciation. In N. R. Cabej (Ed.), *Epigenetic principles of evolution* (pp. 707-723). Elsevier.
3. Cabej, N. R. (2013). Rise of the animal kingdom and epigenetic mechanisms of evolution. In N. R. Cabej (Ed.), *Building the most complex structure on Earth* (pp. 239-298). Elsevier.
4. Gargaud, M., Amils, R., & Cleaves, H. (2011). *Encyclopedia of astrobiology*. New York: Pearson.
5. Méndez, M., & Navarro, J. (2014). *Introducción a la biología evolutiva*. ESEB-SOCEVOL.
6. Ohta, T. (2013). Neutral theory. In S. Maloy & K. Hughes (Eds.), *Brenner's Encyclopedia of Genetics* (pp. 67-68). Elsevier.
7. Pla-García, J., & Menor-Salván, C. (2017). *La composición química de la atmósfera primitiva del planeta Tierra*. Real Sociedad Española de Química.
8. Storch, I. (2003). Linking a multiscale habitat concept to species conservation. In *Landscape ecology and resource management: linking theory with practice* (pp. 303-320). Island Press.

TEMA 2: BIOQUÍMICA

El fascinante mundo de la bioquímica nos lleva a comprender la arquitectura molecular de los seres vivos constituida por carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, entre otras moléculas, cada una de ellas con una estructura específica que en conjunto y concordancia determinan las diversas funciones de todo ser viviente de nuestro planeta.



2 BIOQUÍMICA

La bioquímica La bioquímica es la rama de la ciencia que estudia la composición química de los seres vivos y los procesos moleculares que ocurren en ellos. Se centra en comprender cómo las biomoléculas, como proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos, interactúan para mantener la vida, así como sus aplicaciones e interacciones en el organismo, y los procesos bioquímicos y metabólicos.

2.1 NIVELES DE ORGANIZACIÓN DE LOS SERES VIVOS

Los seres vivos están muy organizados y estructurados, siguiendo una jerarquía que puede examinarse en una escala de pequeña a grande, por lo tanto, la organización biológica refleja el trayecto de la evolución sin importar que se estudie a un individuo o el mundo de los seres vivos, puede identificarse un patrón de complejidad creciente.

Cada nivel supone determinadas características de la materia que en el nivel anterior no estaban presentes. Son niveles sin vida (abióticos) las partículas subatómicas, los átomos, los elementos, las biomoléculas y los organelos. Son niveles con vida (bióticos) la célula, tejido, órgano, sistema, organismos multicelulares.

La materia viva, presenta los siguientes niveles de organización:

2.1.1 NIVEL QUÍMICO

Es el nivel abiótico más básico de organización, comprende los siguientes subniveles:

a) **Atómico:** Es la unidad de materia más pequeña y fundamental que puede participar en una reacción química; por ejemplo, un átomo de hidrógeno (H), carbono (C), oxígeno (O).

b) **Molecular:** Es la unión química de átomos, de tal suerte que dos átomos de hidrógeno se combinan con uno de oxígeno y forman una molécula de H_2O. Los átomos que componen una molécula pueden ser idénticos (por ejemplo, H_2) o diferentes (por ejemplo, CO_2) dando moléculas homogéneas y heterogéneas.

c) **Macromolecular:** Son moléculas grandes que se forman típicamente por polimerización, se forman por la combinación de muchos átomos o moléculas. Son macromoléculas los polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos y algunos lípidos. El ácido desoxirribonucleico (ADN), por ejemplo, es una macromolécula que contiene las instrucciones para la estructura y el funcionamiento de todos los organismos vivos, Gerald Karp (2009) señala que: “Las macromoléculas debido a su tamaño y las intrincadas formas que estas pueden adoptar, algunas de estas moléculas gigantes pueden realizar tareas complejas con gran precisión y eficiencia.” (p. 41).

d) **Supramolecular:** Surge como producto de la interacción de las macromoléculas; son complejos supramoleculares los ribosomas, las membranas biológicas, el nucléolo y los cromosomas, cumpliendo diversas funciones en las células. Los virus son complejos supramoleculares y subcelulares constituidos por una estructura proteica, ácido nucleico (ARN o ADN) y en algunos casos una envoltura lipídica.

e) **Organelos:** Complejos supramoleculares de alta complejidad que son básicos en el funcionamiento de las células: el núcleo es importante por contener la información genética; las mitocondrias, en la producción de energía; los cloroplastos participan en la fotosíntesis; y los lisosomas, por contener diversas enzimas.

2.1.2 NIVEL BIOLÓGICO

a) **Celular:** Es el nivel biótico más importante porque es la unidad fundamental de la vida, contiene todos los niveles

antes mencionados y es capaz de realizar diversas funciones de manera independiente.

b) **Histológico:** Es el conjunto de células similares que llevan a cabo diversas funciones complejas. Ejemplo, tejido epitelial, conectivo, muscular, nervioso.

c) **Orgánico:** Son colecciones de tejidos agrupados que realizan una función común. Por ejemplo, el corazón.

d) **Sistémico:** Son el conjunto de órganos parecidos, pero que no son capaces de realizar acciones independientes. Por ejemplo, el sistema nervioso.

e) **Individuo organismo:** Constituido por varios sistemas (organismo multicelular o pluricelular). Un organismo también puede estar formado por una célula (organismo unicelular).

2.1.3 NIVEL ECOLÓGICO

El nivel ecológico se refiere como están organizados los seres vivos en el medio ambiente, presenta los siguientes subniveles:

a) **Población:** Conjunto de individuos de la misma especie que habitan en la misma zona geográfica.

b) **Comunidad:** El conjunto de poblaciones forman comunidades, aunque sean de especies diferentes comparten el mismo espacio físico.

c) **Ecosistema:** Es el conjunto de seres vivos pertenecientes a la comunidad y que interactúan en el medio donde habitan y con el ambiente.

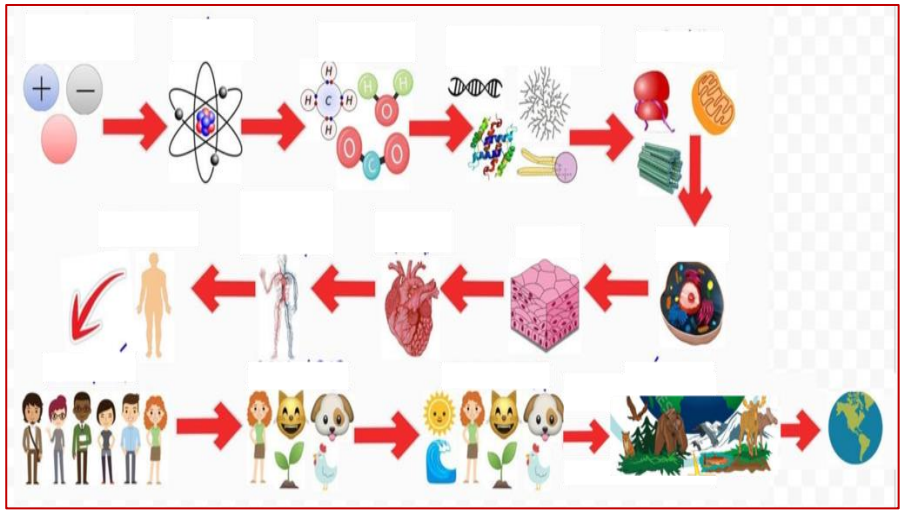
d) **Bioma:** Colección de todos los ecosistemas que representan las zonas de vida en la tierra. en los que los individuos comparten el mismo tipo de clima que les permite interactuar entre sí y sobrevivir aquí.

e) **Biosfera:** Masa de vida del planeta, donde se realiza el fenómeno de la vida. (Sarmiento Fausto, 2014).

Leonardo Malacalza (2002) señala que: “La biosfera es el nombre que se da al conjunto de seres vivientes de todo el planeta. Tiene un espesor de unos veinte kilómetros, diez hacia abajo en las fosas marinas y diez hacia arriba en las montañas”. (p.16).

f) **Ecósfera:** Es la masa del planeta que comprende la biosfera, la atmósfera, la hidrósfera y la geósfera. (Sarmiento Fausto, 2014).

Fig. 2.1. Niveles de organización de la materia



2.2 BIOMOLÉCULAS ORGÁNICAS: GLÚCIDOS

Todos los seres vivos están constituidos por los mismos bioelementos (C, H, O, N, P, S, Fe, Mg, etc.) y biomoléculas (orgánicas e inorgánicas), para poder entender mejor la estructura y función de los organismos vivos necesitamos tener un conocimiento básico de las estructura y función de estos bioelementos y biomoléculas, cómo interactúan entre sí para producir movimiento, crecimiento, comunicación o cómo forman y utilizan energía.

2.2.1 GLÚCIDOS

Llamados también carbohidratos o sacáridos, que provienen del griego “sakcharon” que significa “azúcar”, son los segundos componentes más abundantes de los seres vivos, literalmente son hidratos de carbono por su composición química que es $(C H_2 O)_n$. Dentro de las células los glúcidos desempeñan diversas funciones, en primer lugar está el de almacenamiento energía, combustible e intermediarios metabólicos, en segundo lugar, pentosas como ribosa y desoxirribosa forman parte de la trama estructural del ARN y ADN, en tercer lugar forman estructuras de las paredes celulares de bacterias y plantas y del exoesqueleto de artrópodos, así también, diremos que muchos se encuentran unidos a proteínas y lípidos. Los vegetales la sintetizan por medio de fotosíntesis en grandes cantidades mientras que los animales pueden sintetizar algunos carbohidratos a partir de lípidos y proteínas, pero en menor cantidad. (Melo, 2018)

Clasificación: Los glúcidos, por el número de monómeros que la constituyen, se clasifican en Monosacáridos, Disacáridos, Oligosacáridos y Polisacáridos.

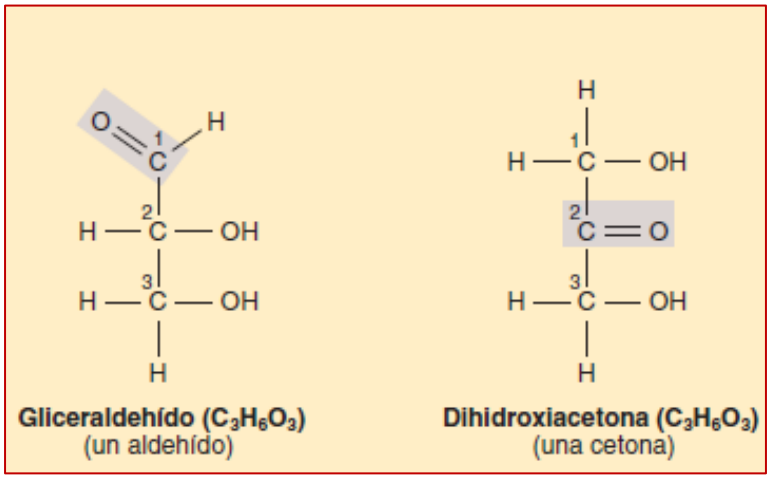
2.2.1.1 Monosacáridos:

Llamados también azúcares simples, constituidos por una sola cadena. Carbohidratos que no pueden ser hidrolizados. Se nombran añadiendo la terminación osa al número de carbonos presentes en su estructura. La clasificación de los monosacáridos se hace de acuerdo con la naturaleza de sus grupos carbonilo y el número de átomos de carbono. (Melo, 2018)

Su fórmula particular es $(CH_2O)n$, donde la n, indica el número de carbonos, pudiendo ser de tres a siete átomos.

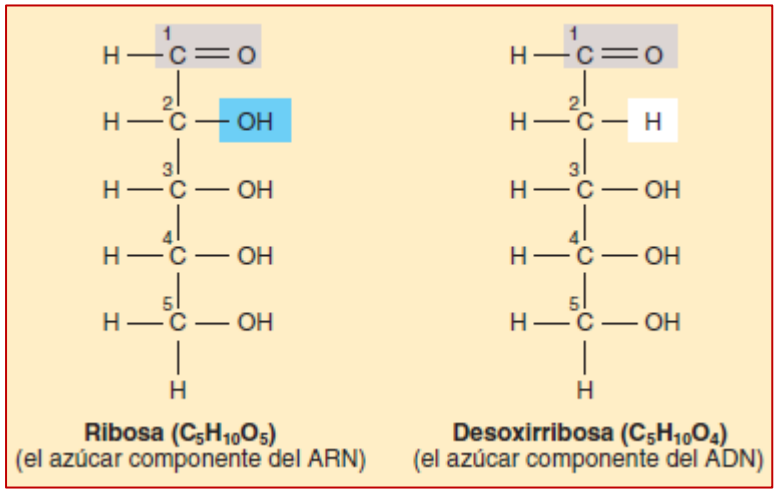
De Erice, Elena (2012) señala que: "Los monosacáridos en realidad, se deben definirse como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas, ya que constituyen un grupo de compuestos cuya fórmula presenta un enlace carbonilo (C=O), ya sea formando aldehídos(-CHO) o cetonas (-CO). El prefijo polihidroxi- se refiere a que cuentan con varios grupos hidroxilos (OH)". (p. 62).

Fig. 2.2. azucares de 3 carbonos



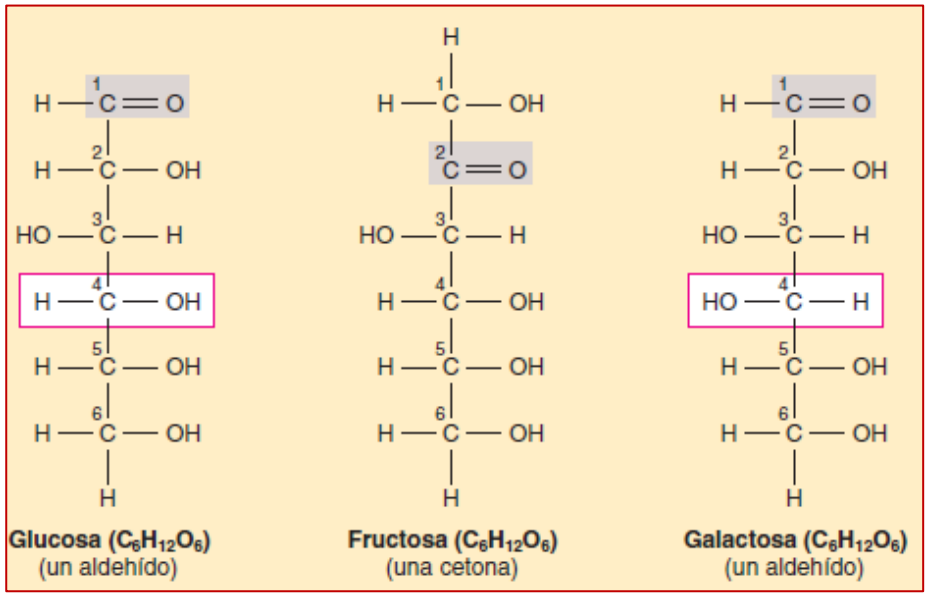
Fuente: Solomon et al. 2013

Fi.g 2.3. azucares de 5 carbonos



Fuente: Solomon et al. 2013

Fig. 2.4. azucares de 6 carbonos



Fuente: Solomon et al. 2013

Por el número de Carbonos se subdividen en: triosas, tetrosas, Por el número de Carbonos se subdividen en: triosas (3C), tetrosas (4C), pentosas (5), hexosas (6), etc. de las cuales las más importantes son:

a) **Triosas ($C_3H_6O_3$):** Son abundantes en el interior de la célula, por ejemplo, los Glicéridos como el Gliceraldehido y la Dihidroxiacetona que son metabolitos intermediarios en la degradación de la glucosa, durante el metabolismo energético.

b) **Tetrosas ($C_4H_8O_4$):** Como la Eritrulosa y la Eritrosa, formados en el proceso de las reacciones oscuras de la fotosíntesis (ciclo de Calvin).

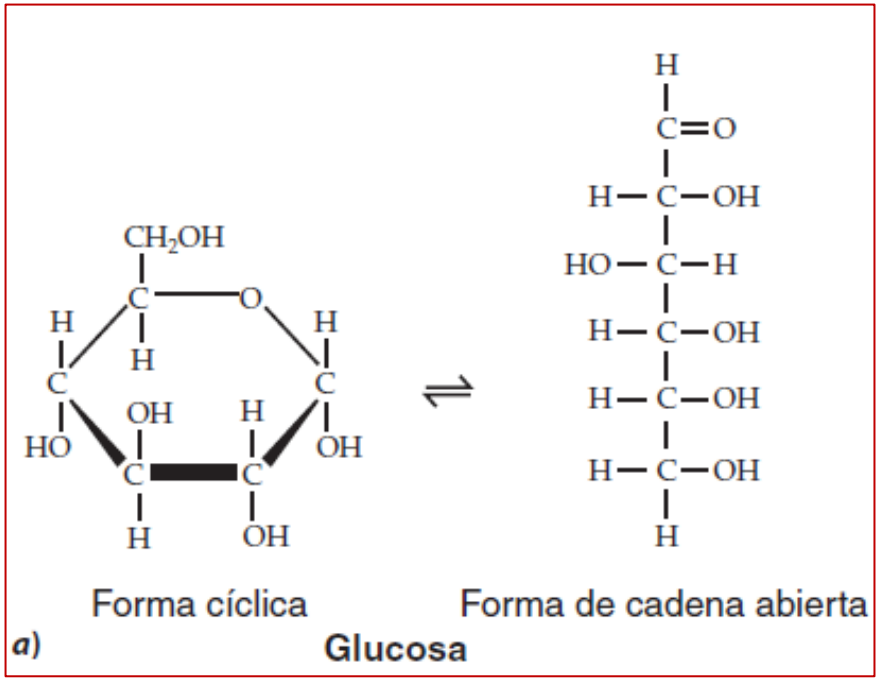
c) **Pentosas ($C_5H_{10}O_5$):** Entre las pentosas más importantes tenemos:

- **La Ribosa**, componente de los nucleótidos del ARN (ácido ribonucleico)
- **Desoxirribosa**, componente de los nucleótidos del ADN (acidodesoxiribonucleico)
- **Ribulosa**, forma parte de la enzima ribulosa-1.5-bifosfato carboxilasa (RuBisCO), que fija el CO_2 atmosférico durante el Ciclo de Calvin en la fotosíntesis.
- **Arabinosa**, se encuentra presente en la goma arábiga (polisacárido), asimismo, en la pectina y hemicelulosa de la pared celular.
- **Xilosa**, está presente en componentes vegetales como la madera.

d) **Hexosas ($C_6H_{12}0_6$):** Las hexosas más importantes y abundantes son:

- **Glucosa**, es uno de los azúcares más importantes y abundantes, a partir de ella se forman otros carbohidratos, es usado por la mayoría de células para obtener energía a través del metabolismo energético. Representa la molécula que da la energía de arranque que requieren las células. Es el producto orgánico resultado de la fotosíntesis y se transforma en almidón en los cereales (miel de maíz) y hortalizas. Es la subunidad de los polisacáridos, tanto de los de reserva como de los estructurales (almidón, celulosa). Se encuentra en el suero sanguíneo y en el medio extracelular.

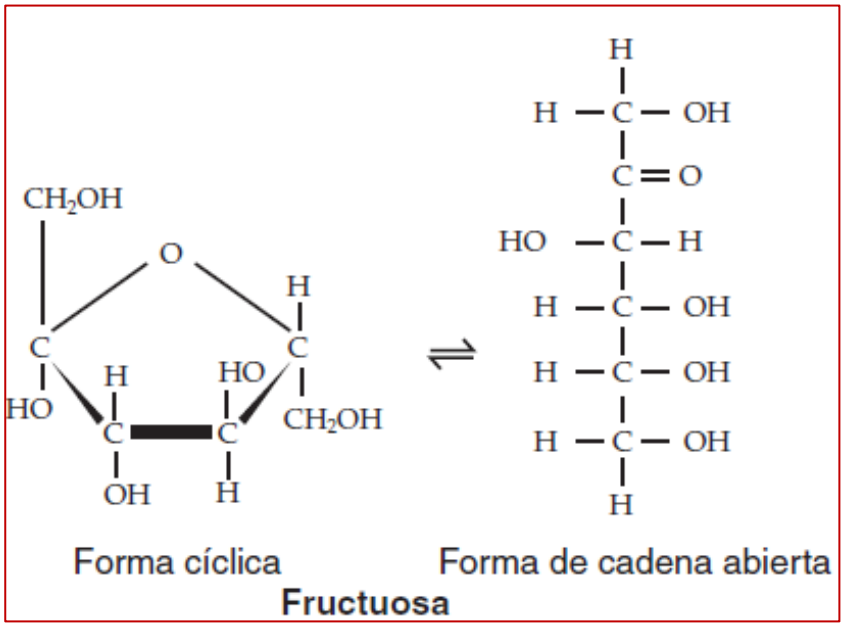
Fig. 2.5 Molécula de Glucosa



Fuente: De Erice et al.2014

- **Fructosa**, (azúcar de la fruta) también llamado levulosa o azúcar de las frutas. Se encuentra en grandes cantidades en frutas como en mango, uva, caña de azúcar y plátano, lo mismo que en algunas verduras y en la miel de abeja. Se utiliza como edulcorante para los diabéticos, ya que no precisa de insulina para metabolizarse.

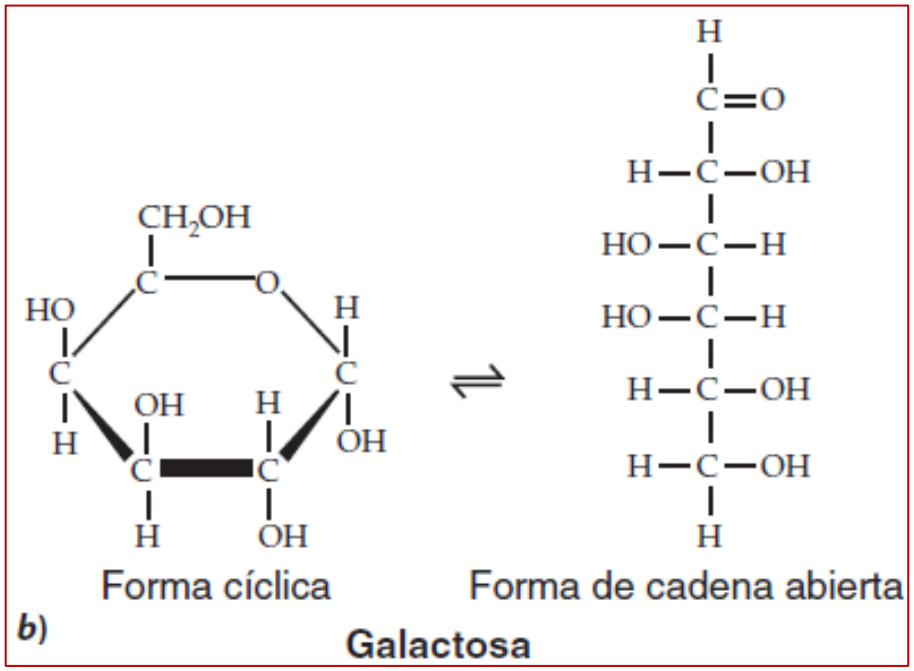
Fig. 2.6. Molécula de Fructosa



Fuente: De Erice et al.2014

- **Galactosa**, (en la leche). Monosacárido que se convierte en glucosa en el hígado como aporte energético. Forma parte de los glucolípidos y glucoproteínas de las membranas celulares, sobre todo de las células cerebrales.

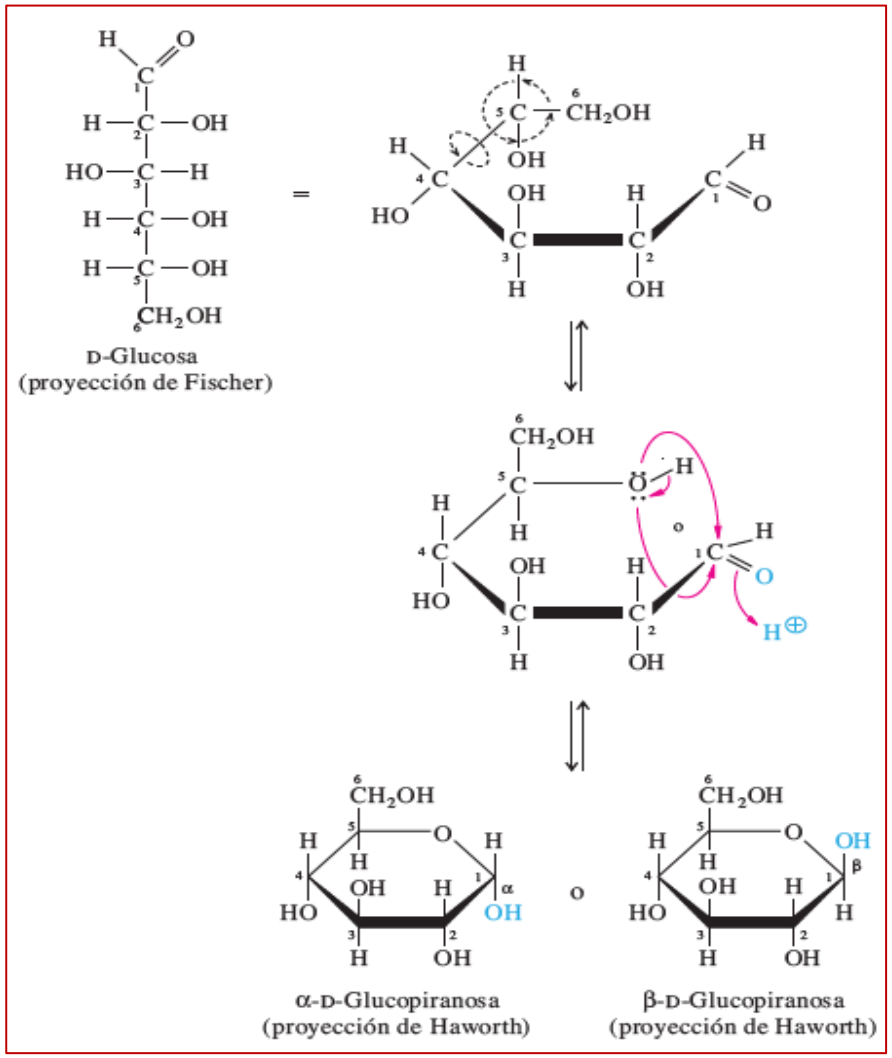
Fig. 2.7. Molécula de Galactosa



Fuente: De Erice et al.2014

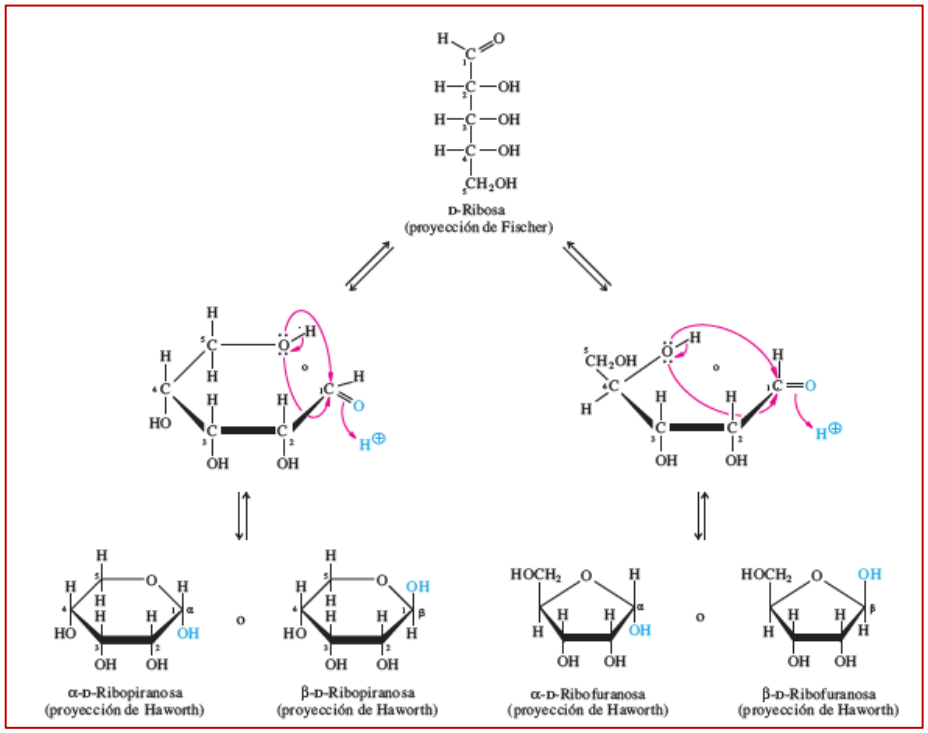
Los monosacáridos de 3C y 4C solo se encuentran de forma lineal (proyección de Fischer), pero los que tienen 5C, 6C, aparte de tener forma lineal, se pueden ciclar formando un anillo piranosa o furanosa cuando se encuentran disolución, conformando de esta manera la proyección de Haworth. (Baynes, 2019).

Fig. 2.8. Ciclación de la glucosa



Fuente: Horton et al. 2008

Fig. 2.9. Ciclación de la ribosa



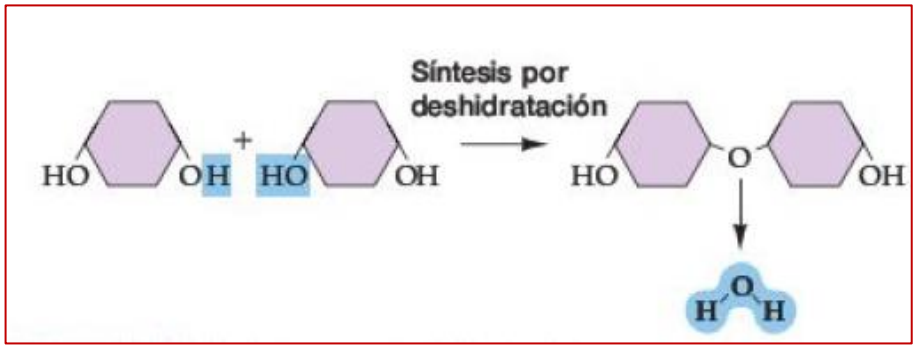
Fuente: Horton et al. 2008

2.2.1.2 Disacáridos:

Son compuestos formados por la unión de dos monosacáridos mediante enlace O-glucosídico, que se forma por la unión de los grupos –OH de dos monosacáridos generando una molécula de agua, el enlace puede ser de tipo alfa (α) que son fácilmente

hidrolizables por lo que lo presentan las moléculas de reserva energética y el enlace beta (β) son más estables y no se hidrolizan fácilmente por lo que están constituyendo estructuras. (Koolman, 2015).

Fig. 2.10. Formación del enlace o glucosídico

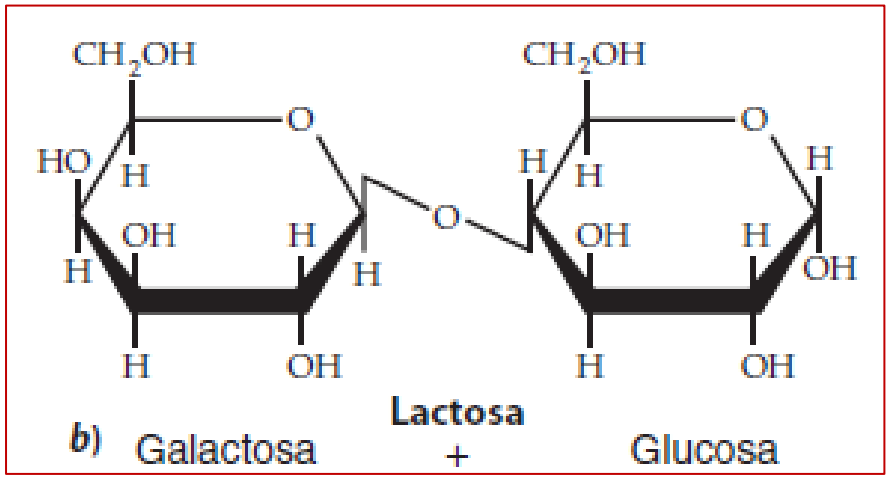


Fuente: Audesirk et al. 2008

Entre los disacáridos más importantes tenemos:

a) **Lactosa:** Azúcar de la leche formado por Galactosa + Glucosa, enlace β (1,4). La sintetizan los mamíferos a nivel de las glándulas mamarias y es una de las principales fuentes alimenticias para el recién nacido.

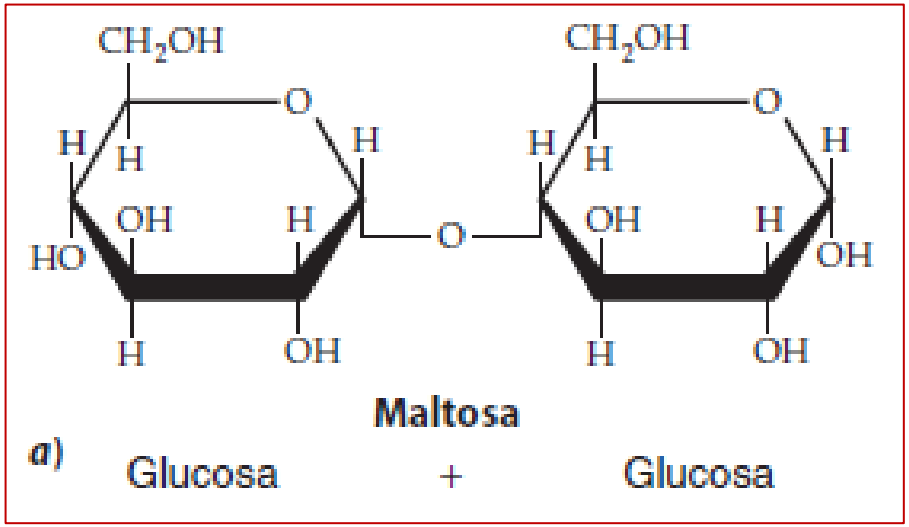
Fig. 2.11. estructura de la lactosa



Fuente: De Erice 2014

b) **Maltosa:** Es un disacárido que se encuentra en las semillas de la cebada, pero también conformado por Glucosa + Glucosa unidas por un enlace α (1,4), se genera por hidrólisis enzimática del almidón, es 10 veces menos dulce que la sacarosa, soluble en agua y muy utilizada en la industria alimentaria. (Gil, 2010).

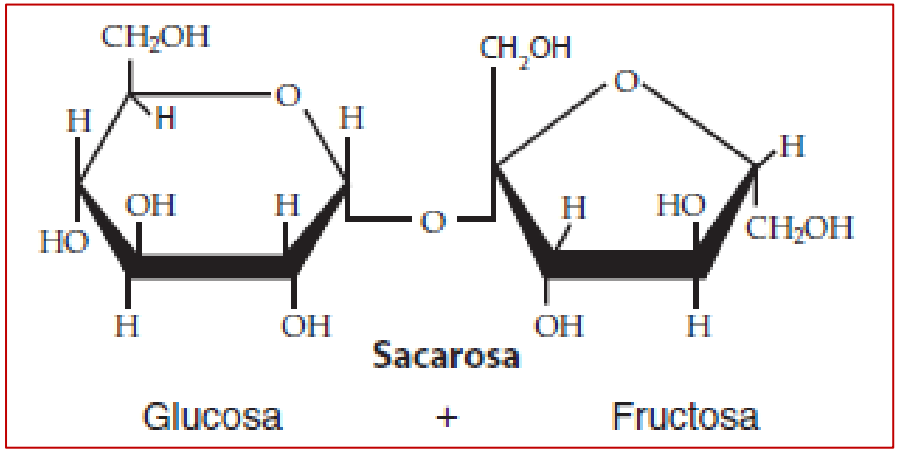
Fig. 2.12. estructura de la Maltosa



Fuente: De Erice 2014

c) **Sacarosa:** Azúcar de la caña o remolacha constituido por Glucosa + Fructosa, unidas por enlace α (1,2) Se encuentra ampliamente distribuido en frutas, verduras y hortalizas y constituye el edulcorante más utilizado en el mundo. (Gil, 2010).

Fig. 2.13. estructura de la Sacarosa



Fuente: De Erice 2014

d) **Celobiosa:** Está compuesto por residuos de glucosa + glucosa unidos mediante enlace glucosídico β (1,4). Presente como unidad conformadora de la celulosa en la pared celular.

e) **Trehalosa:** Azúcar conformada por Glucosa + Glucosa unidas por enlace α (1,1), fue aislada por primera vez por Koch, en 1925, de levaduras, se encuentra presente en la hemolinfa de los insectos (Véjar, 2005).

2.2.1.3 Oligosacáridos:

Son compuestos que al hidrolizarse producen de 3 a 10 unidades de monosacáridos, por ejemplo:

a) **Melecitosa**, trisacárido formado por un residuo de fructosa y dos de glucosa, se encuentra en la miel exudada de muchas plantas como los pinos y los arces.

b) **Dextrinas**, que son mezclas complejas de polisacáridos de distintos tamaños y pueden ser lineales y ramificadas que se obtienen por degradación del almidón, están formados por seis o más unidades de glucosa y son utilizados ampliamente en la industria como espesantes (Eyzaguirre, 1975).

c) **Rafinosa**, trisacárido formado por residuos de galactosa, glucosa y fructosa, se encuentra en la remolacha.

d) **Maltotriosa**, trisacárido formado por tres residuos de glucosa unidos por enlaces α (1,4), se obtiene de la degradación parcial de la amilosa.

2.2.1.4 Polisacáridos:

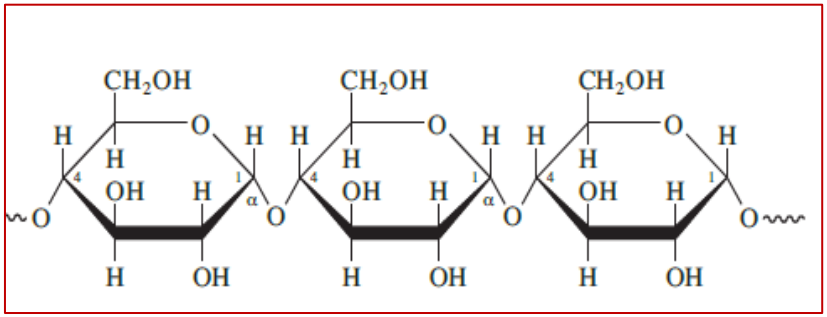
Están formados por la unión de muchos monosacáridos (de 11 a miles) con pérdida de una molécula de agua por cada enlace y desempeñan funciones de reserva, estructural y energética. Se hidrolizan. Se dividen en dos grupos:

a) Polisacáridos de reserva:

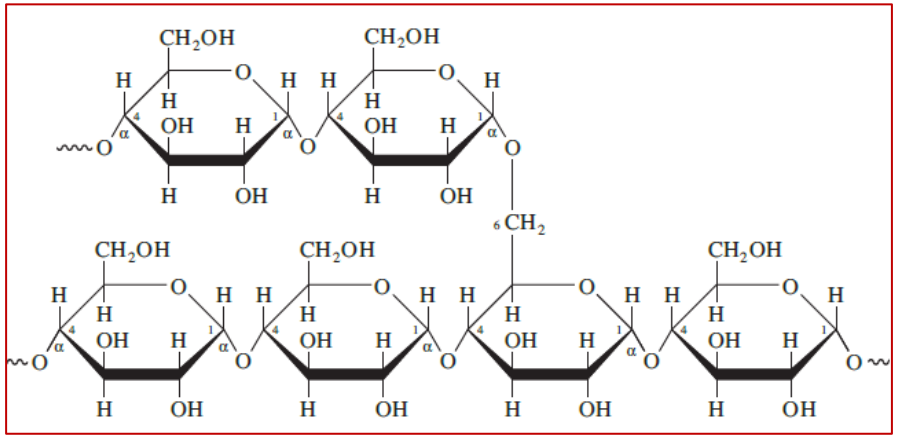
- **Almidón:** Propio de los vegetales, integrado por dos polímeros: la amilosa (30%) molécula lineal formado por unidades de glucosa unidas por enlaces α (1,4), y la amilopectina, (70%) que son moléculas ramificadas conformadas por unidades de glucosa unidas por enlaces α (1,4). Estas ramificaciones están conformadas por 25 unidades aproximadamente y se unen mediante enlaces α (1,6) (Pérez, 2013).

Fig. 2.14. Estructura molecular del almidón y el glucógeno a) Amilosa es un polímero lineal de glucosas y b) amilopectina, es un polímero ramificado

a)

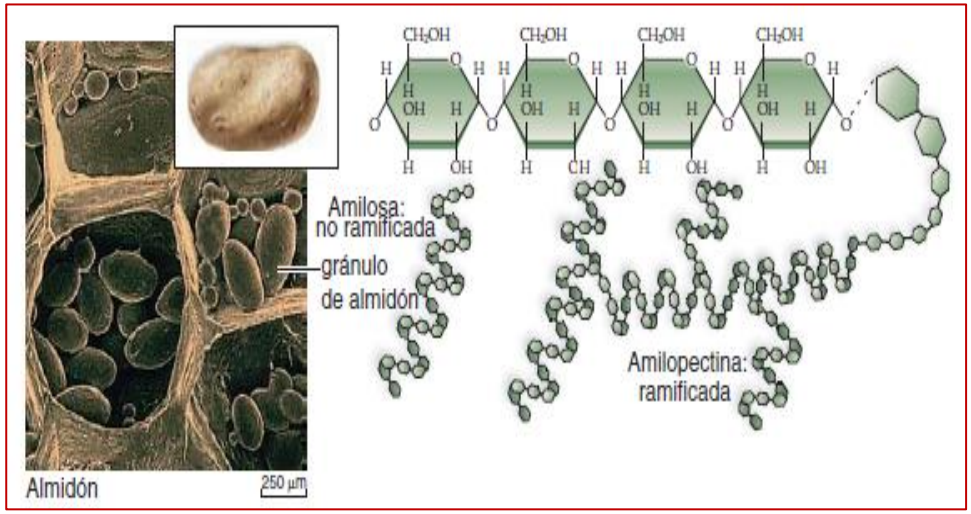


b)



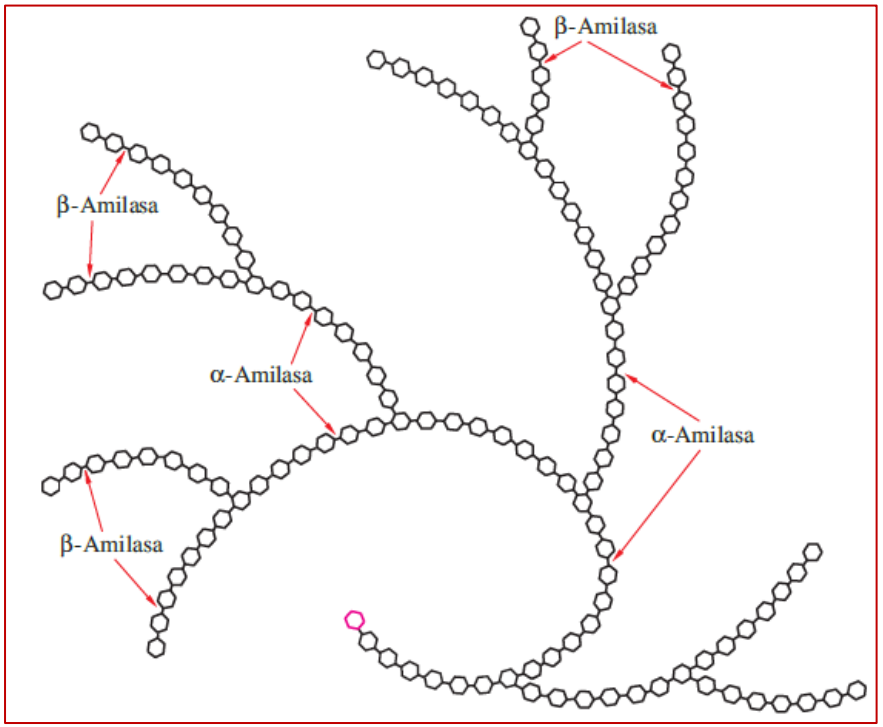
Fuente: Horton et al. 2008

Fig. 2.15. Las plantas almacenan la glucosa en forma de almidón.



Fuente: De Erice 2014

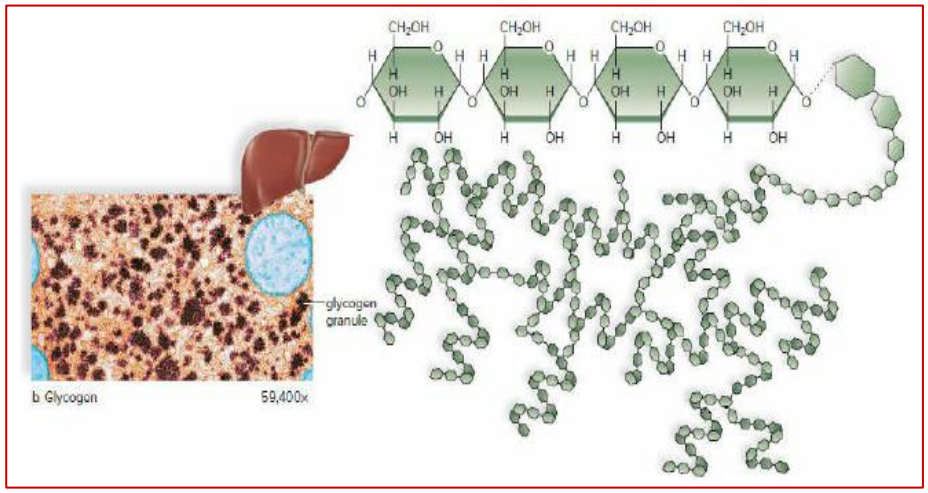
Fig. 2.16. Acción de las a y b amilasas sobre la amilopectina



Fuente: Horton et al. 2008

- **Glucógeno:** Corresponde a un polisacárido de reserva energética de los animales. Abundante en el hígado (10%) y músculos (2%), presenta una cadena de hasta 300 000 glucosas con ramificaciones que se dan cada 12 unidades de glucosa aproximadamente. (Pérez, 2013).

Fig. 2.17. estructura del glucógeno



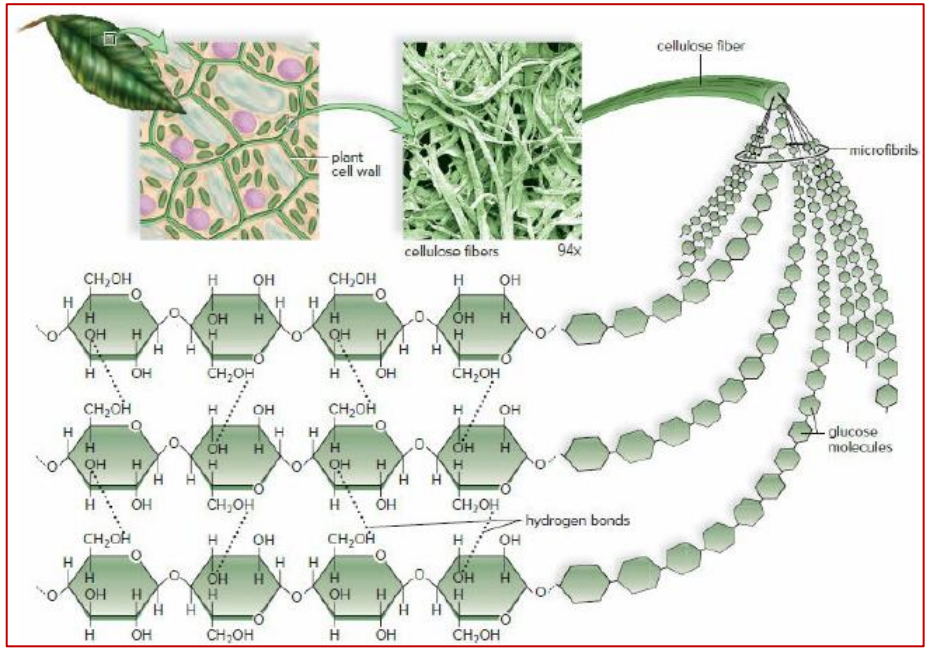
Fuente: De Erice 2014

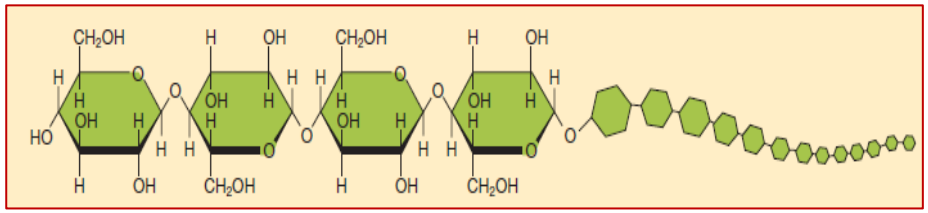
- **Inulina:** Es un polisacárido de reserva presente en algunos vegetales, como el yacón y la alcachofa, que está constituido por residuos de fructosa. Constituye la fibra alimentaria que mejora el tránsito intestinal y representa la principal fuente de alimento para nuestra flora bacteriana intestinal.

b) Polisacáridos estructurales

- **Celulosa:** Forma la pared celular de la célula vegetal, está constituida por miles de monómeros de glucosa unidos por enlaces β (1,4) permitiendo la formación de moléculas lineales. Constituye el principal componente de la pared celular de los vegetales, encontrándose en la madera, algodón, cáñamo, etc. Los únicos que pueden utilizar la celulosa como alimento son los rumiantes que poseen los microorganismos necesarios para degradar el enlace β (1,4). (Pérez, 2013).

Fig. 2.18. organización de las paredes celulares de los vegetales

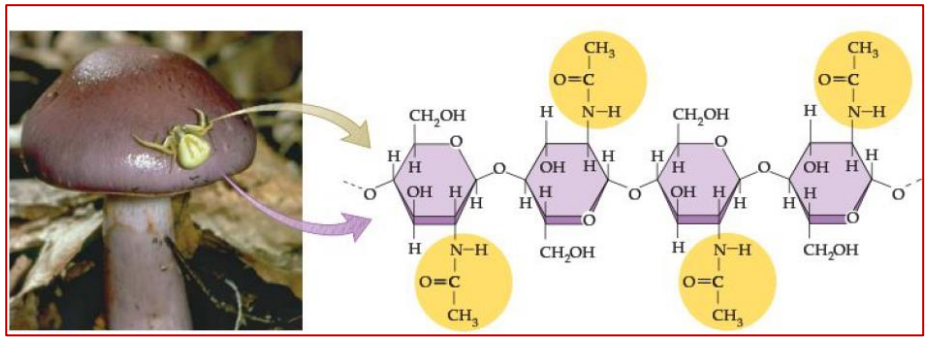




Fuente: Mathew et al. 2008; Solomon et al 2013

- **Quitina:** Formado por unidades de N-Acetilglucosamina unidos por enlaces β (1,4). Son moléculas lineales, que forman el exoesqueleto de artrópodos y la pared celular de hongos. (Pérez, 2013).

Fig. 2.19. Estructura de la quitina



Fuente: Audesirk y Byres 2008

2.2.1.5 Glúcidos asociados a otras moléculas

a) **Proteoglucanos:** Formadas por proteínas unidas a un tipo particular de polisacáridos llamados glicosaminoglicanos. Se asemejan más a los polisacáridos que a las proteínas por cuanto el glicosaminoglicano constituye más del 95% del peso de la biomolécula. Actúan como lubricantes y componentes estructurales en el tejido conectivo. (Stryer, 2008).

   En tejidos animales, encontramos el ácido hialurónico (en tejido conjuntivo), heparina (sustancia anticoagulante) y condroitín sulfato (en cartílagos, huesos, tejido conjuntivo y córnea).

b) **Peptidoglucanos o mureína.** Está compuesto de unidades estructurales de N-Acetil glucosamina y Ácido N-acetilmurámico, asociados con péptidos. Constituyen la pared bacteriana, que es una estructura rígida que limita la entrada de agua por ósmosis evitando así la destrucción de la bacteria. (Pérez, 2013).

Función de los glúcidos

- **Energética:** Aportan energía a los seres vivos. 1 gramo de carbohidrato al metabolizarse puede aportar 4,2 Kcal.

- **Estructural:** Son elementos estructurales de los ácidos nucleicos, pared celular de bacterias, células vegetales y del exoesqueleto de artrópodos.
- **Reserva:** Hay azúcares que se almacenan, como el glucógeno del músculo, almidón de semillas, etc.

2.2.2 LÍPIDOS

Al igual que los carbohidratos, los lípidos contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. La mayoría de los lípidos son insolubles en solventes polares como el agua; es decir, son hidrófobos (Tortora, 2011); pero son solubles en solventes no polares como el cloroformo, el éter y el benceno.

2.2.2.1 Componentes

No todos los lípidos tienen la misma composición química, una gran variedad de ellas está formado por la unión de alcohol y ácido graso.

a) Alcoholes

Son compuestos orgánicos que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en su estructura química.

Los alcoholes más comunes presentes en los lípidos son:

- **El glicerol,** es un polialcohol conocido como propanotriol o glicerina. Es el alcohol más común y está formado por tres átomos de carbono.
- **La esfingosina,** es un alcohol aminado conocido como esfingol, está formado por 18 átomos de carbono y forma generalmente las ceramidas (esfingosina unida a un ácido graso).
- **El dolicol,** es un polisoprenoide formado entre 15 a 19 unidades de isopreno con un grupo oxidrilo terminal. Constituye estructuras resistentes como ceras o membranas.
- **El miricilo**, es un alcohol que presenta 30 átomos y se encuentra presente en la cera de las abejas.

b) Ácidos grasos

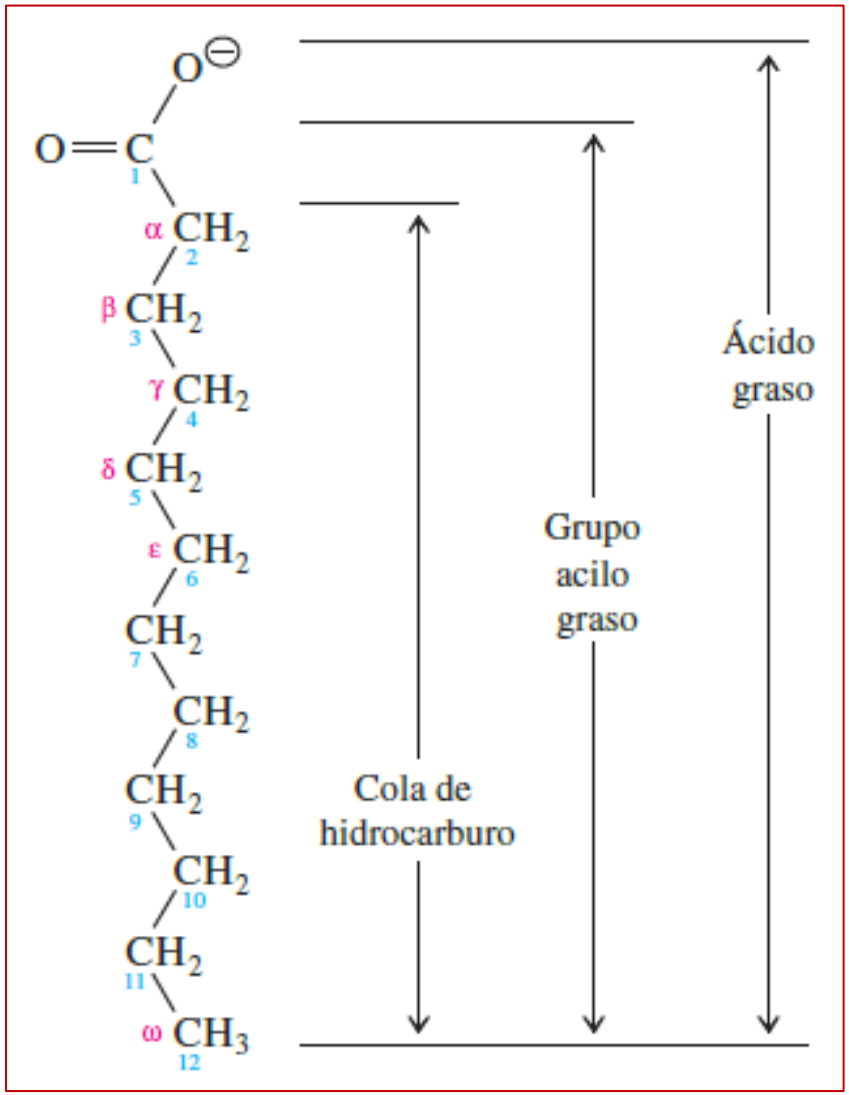
Son moléculas formadas por cadenas lineales de átomos de carbono que poseen en un extremo de la cadena un grupo carboxilo (-COOH). Su número de átomos de carbono es generalmente par ya que se sintetizan a partir de unidades de dos carbonos llamadas acetilo. Los ácidos grasos pueden ser:

- **Ácidos grasos saturados**, son aquellos donde los enlaces entre los carbonos son simples, con la misma distancia entre ellos. A temperatura ambiente están en estado sólido (sebo,

manteca, mantequilla), siendo los más destacados el ácido el láurico (12 C), el mirístico (14 C), palmítico (16 C), el margárico (17 C) y el esteárico (18 C).

- **Ácidos grasos insaturados**, son aquellos que pueden presentar dobles o triples enlaces entre los carbonos de su cadena, siendo que la distancia entre los carbonos no es la misma que la de los demás enlaces de la molécula. A temperatura ambiente constituyen lípidos líquidos (aceites) y están presentes en las plantas superiores (fanerógamas) y en los animales que viven a bajas temperaturas. Entre los más destacados tenemos el ácido palmitoleico (16 C), el oleico (18 C), el linoleico (omega 6, con 18 C) y el linolénico (omega 3, con 18 C).

Fig. 2.20. Estructura de los ácidos grasos

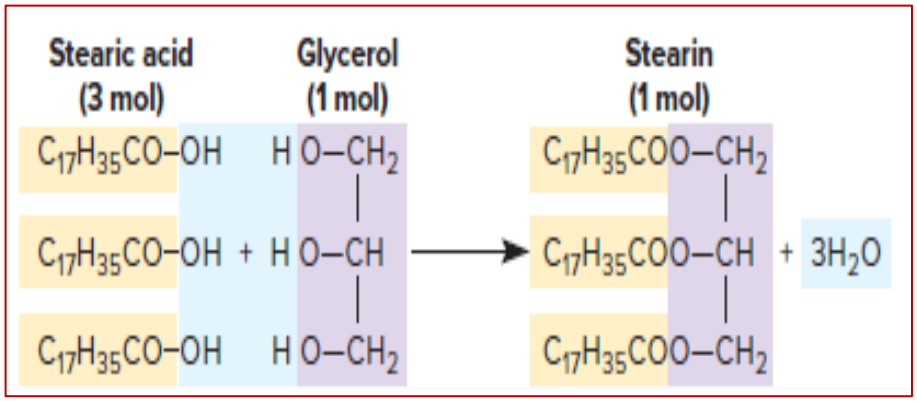


Fuente: Horton 2008

2.2.2.2 Enlace éster

Permite la unión entre un ácido graso y un alcohol. Se forma cuando reacciona el grupo carboxilo (-COOH) del ácido graso y el oxidrilo (-OH) del alcohol; en este proceso se libera una molécula de agua.

Fig. 2.21. Formación del enlace éster



Fuente: Hickman 2016

Proceso de saponificación

La saponificación es un proceso químico en el cual los triglicéridos reaccionan con una base (compuesto alcalino o hidróxido), dando como resultado la formación de jabón y glicerina.

2.2.2.3 Clasificación

a) Lípidos saponificables

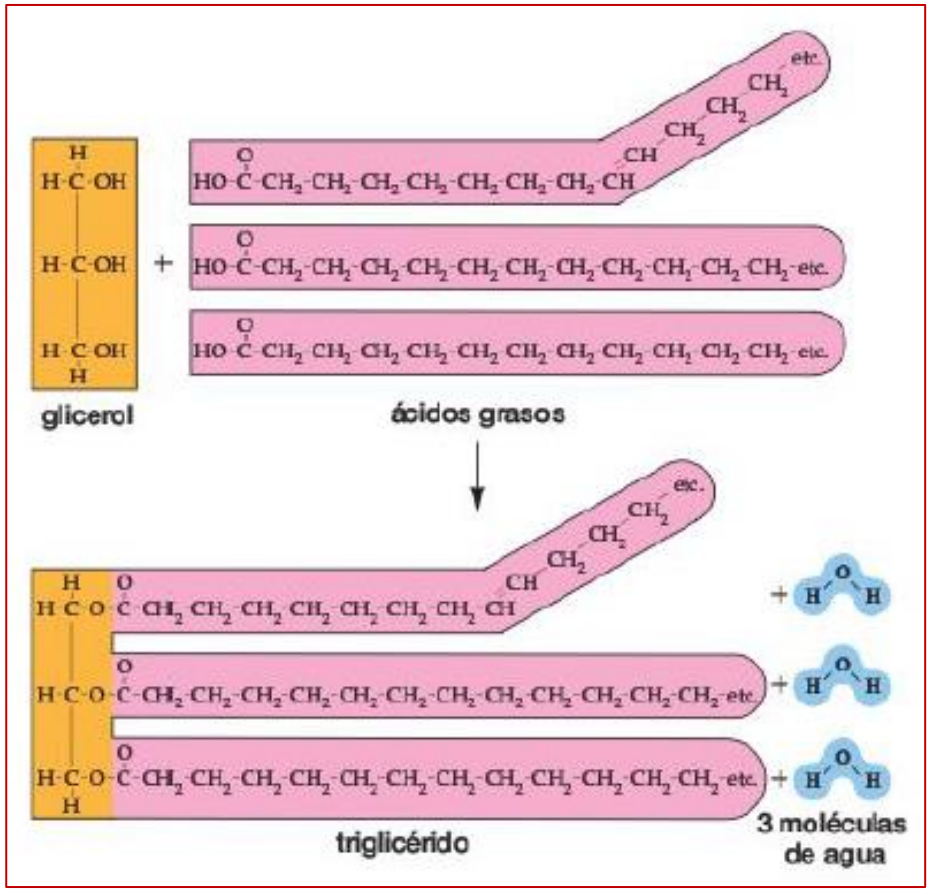
Son aquellos lípidos que tienen la capacidad de formar jabones, cuando sus ácidos grasos reaccionan con un álcalis o base (NaOH o KOH). En tal sentido al descomponerse liberan ácidos grasos y alcoholes.

a.1 Lípidos simples, están constituidos por un alcohol y ácidos grasos, unidos por enlaces éster.

- **Glicéridos, grasas neutras o acilglicéridos**, formados por un glicerol y 1 a 3 ácidos grasos. Son considerados lípidos neutros ya que sus moléculas no están cargadas; además son no polares al no ser solubles en agua. Son conocidas como grasas, las que pueden ser sólidas, semisólidas o líquidas; además, pueden ser de tres tipos: monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos, si el glicerol se une a uno, dos o tres ácidos grasos respectivamente por medio de enlace éster. Los triglicéridos son la principal forma de almacenamiento de los ácidos grasos en plantas y animales, siendo compuestos eficientes de almacenamiento

energético. En muchos animales, las grasas se almacenan en células especiales llamadas adipocitos.

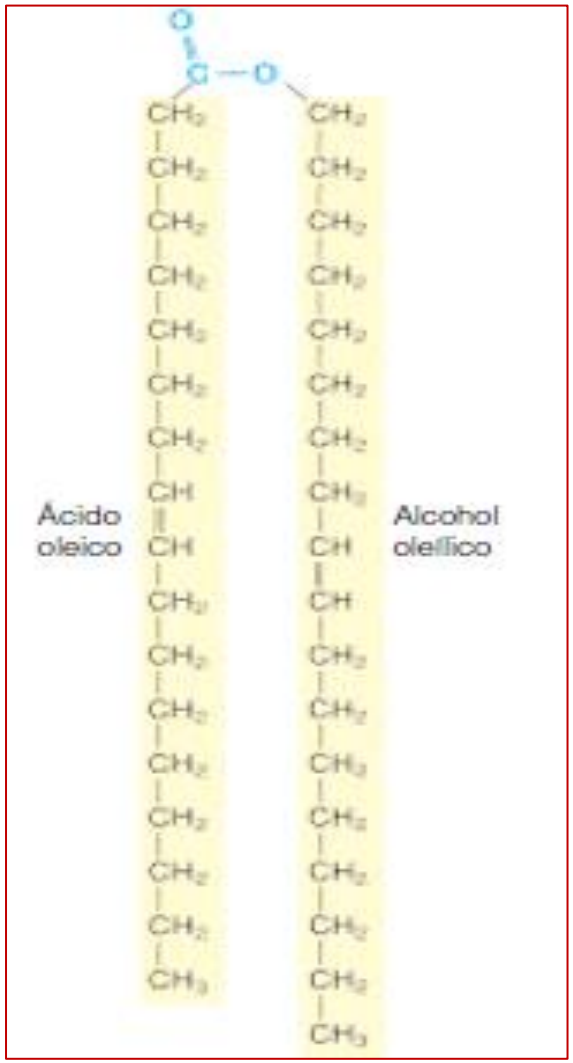
Fig. 2.22. Estructura de un triglicérido



Fuente: Audesirk y Byres 2013

- **Céridos**, son conocidos como ceras y están constituidos por un alcohol de elevado peso molecular (de 16 a 30 átomos de carbono) monohidroxílico y un ácido graso saturado de cadena larga (de 14 a 36 átomos de carbono). Son insolubles en agua y moldeables cuando son calentadas, por lo que su función típica es servir de impermeabilizante, revistiendo las hojas, frutos, flores y tallos jóvenes; asimismo, en los tegumentos de muchos animales, el pelo o las plumas. Entre los céridos más importantes tenemos el palmitato de miricilo (cera de abejas), la lanolina (cera de la lana), la cutina (cera vegetal epidérmica) y la suberina (cera vegetal de los tallos leñosos).

Fig.2.23. Estructura de una cera

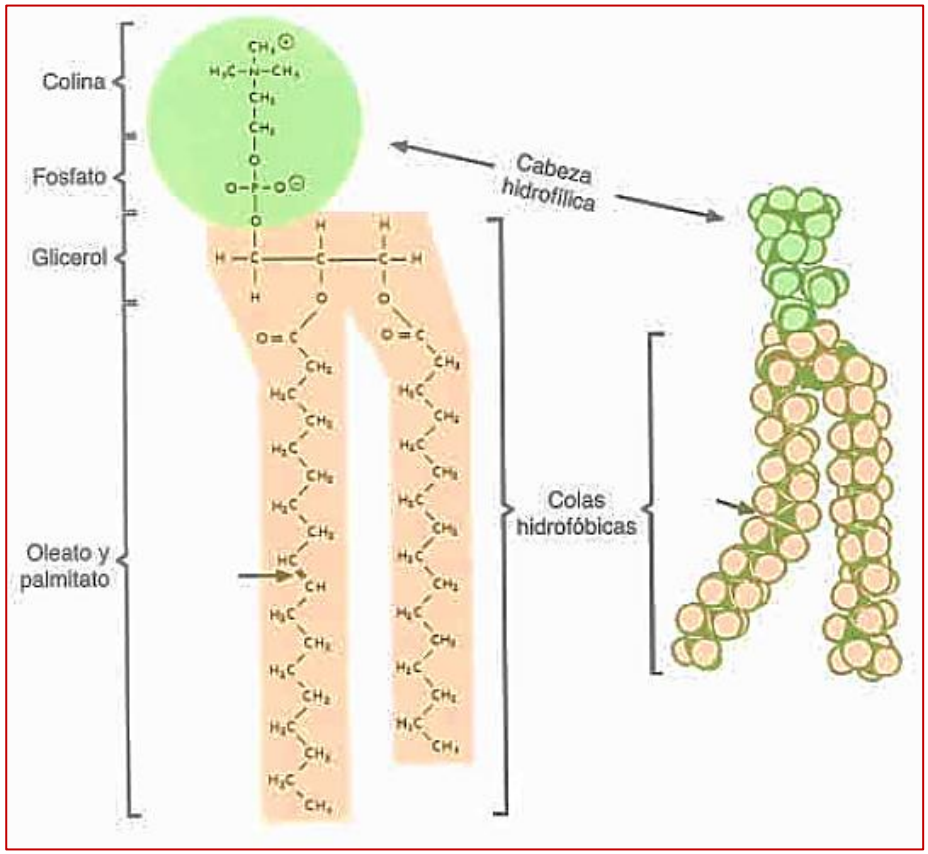


Fuente: Mathews et al. 2002

a.2 Lípidos complejos, son lípidos que están constituidos por un alcohol, ácidos grasos y otros compuestos químicos. Son moléculas anfipáticas, con una cabeza polar hidrofílica y una cola apolar hidrofóbica. Se clasifican en:

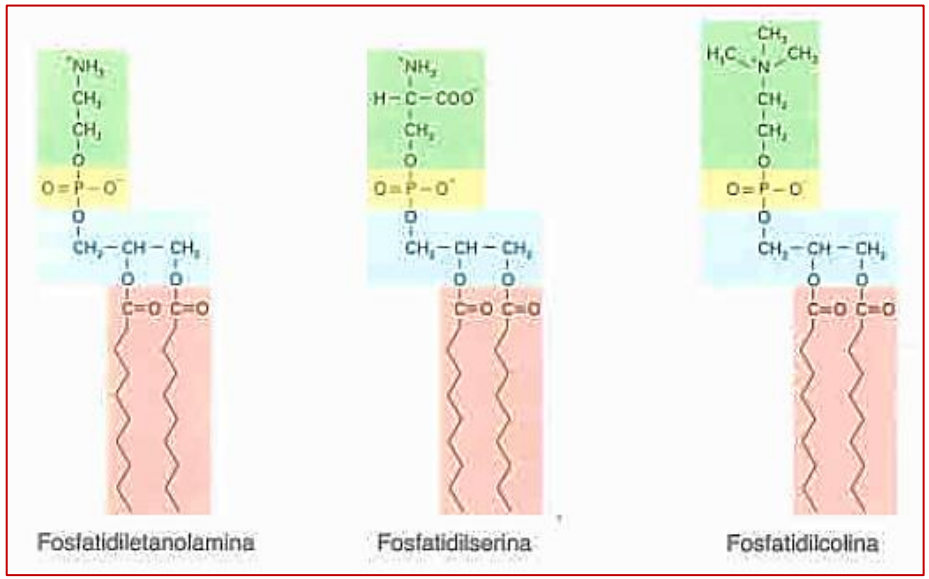
- **Fosfolípidos,** están constituidos por ácidos grasos, un alcohol, ácido fosfórico y una base generalmente nitrogenada, como la colina, la serina o la etanolamina. Son moléculas anfipáticas, cuya cabeza hidrofílica está constituida por ácido fosfórico y una molécula nitrogenada, mientras que la cola hidrofóbica está formada por dos ácidos grasos y un alcohol que puede ser glicerol o esfingosina. Su importancia radica en que son componentes de las membranas celulares donde forman una bicapa. En tales bicapas lipídicas, todas las colas hidrofóbicas se encuentran emparedadas entre las cabezas hidrofílicas.

Fig. 2.24. Estructura y componentes de un fosfolípido



Fuente: Robertis 2012

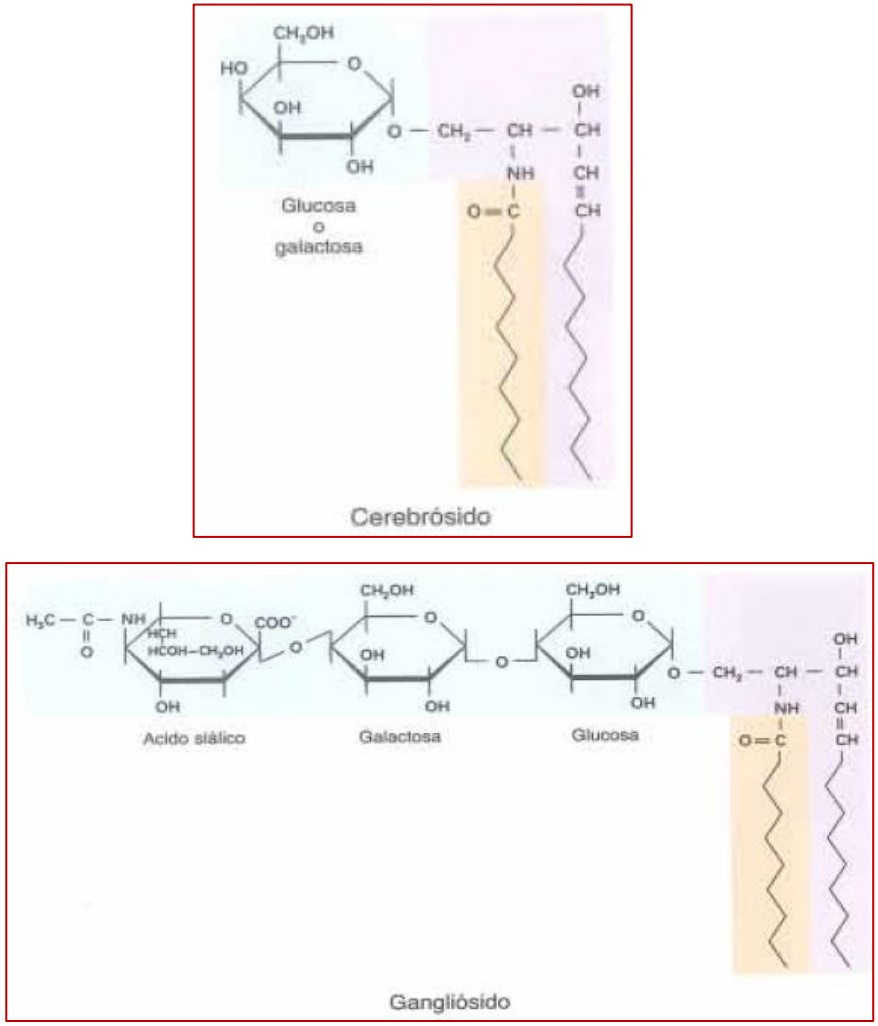
Fig. 2.25. tipos de fosfolípidos



Fuente: Robertis 2012

- **Glucolípidos,** están constituidos por un ácido graso, un alcohol aminado denominado esfingosina y un carbohidrato. Son muy abundantes en la membrana de las células animales y de protozoos, donde forman el glucocálix; también abundan en el tejido nervioso. Entre los más importantes tenemos: los cerebrósidos (abundantes en el cerebro), los gangliósidos (receptores de partículas virales) y los sulfátidos (membranas biológicas).

Fig. 2.26. Estructura de un cerebrósido y ganglósido



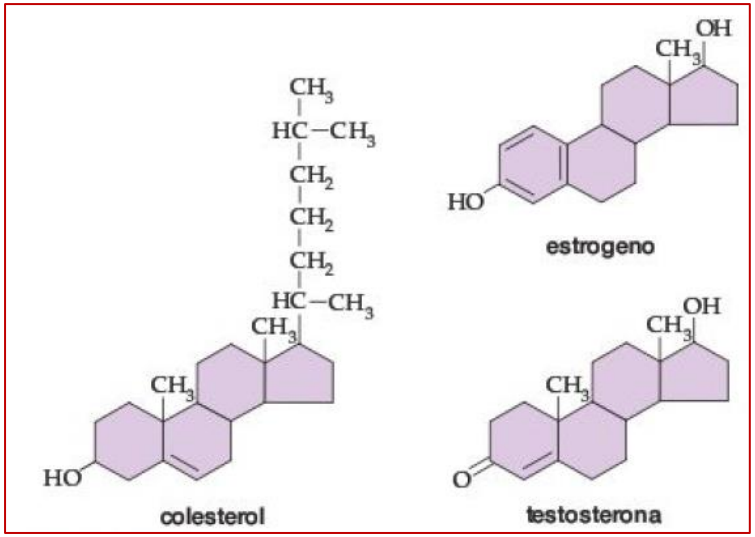
Fuente: Robertis 2012

b) Lípidos insaponificables

Son aquellos que no pueden formar jabones por carecer de ácidos grasos, en tal sentido al descomponerse no liberarán ácidos grasos, ni alcoholes. Son considerados lípidos porque pueden disolverse en solventes orgánicos. Entre los lípidos insaponificables más importantes tenemos:

- **Esteroides,** son lípidos derivados del ciclopentanoperhidrofenantreno o esterano, estructura formada por cuatro anillos fusionados de donde se derivan todos los esteroides.

Fig. 2.17. diversidad de esteroides



Fuente: Audesirk y Byres 2013

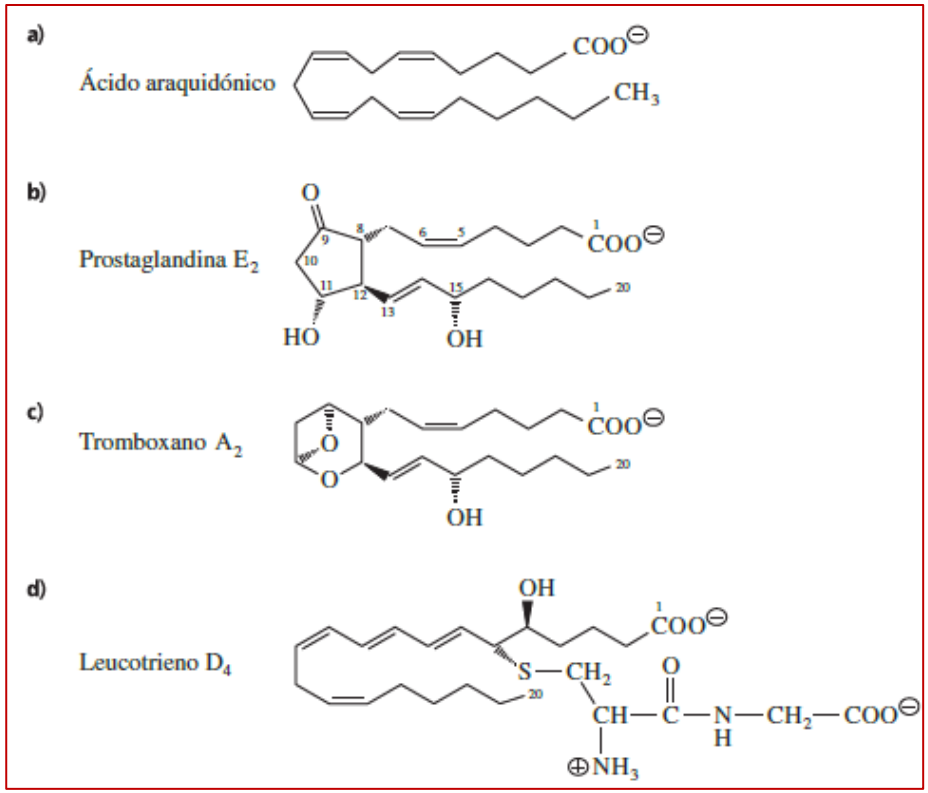
A este grupo pertenecen sustancias muy activas y de gran importancia en el metabolismo, como:

- **El colesterol,** precursor de los demás esteroides, presente también en las membranas celulares.
- **Hormonas esteroideas**, como las sexuales (testosterona, progesterona, estrógenos), las suprarrenales (glucocorticoides, mineralocorticoides).
- **Ácidos biliares**, derivan del colesterol y es un componente de la bilis, actúan como emulsionante de las grasas
- **Vitamina D,** importante para la absorción del calcio.
- **Ergosterol,** presente en vegetales y la membrana celular de los hongos.

- **Isoprenoides**, están formados por la polimerización del isopreno. Clasificación:
  - **Monoterpenos**, constituidos por dos isoprenos (un terpeno). Se encuentran en esencias vegetales, como el mentilo de la menta, el pineno de la trementina, el alcanfor del alcanforero, la carnova de la alcaravea, el limoneno del limón y el geraniol del geranio.
  - **Sesquiterpenos**, constituidos por tres isoprenos. Destaca el farnesol, que intervendrá en la síntesis del escualeno que dará origen al colesterol.
  - **Diterpenos,** constituidos por cuatro isoprenos (dos terpenos). Destaca el fitol, que constituye la cola hidrofóbica de la clorofila.
  - **Triterpenos**, constituidos por seis isoprenos (tres terpenos). Son conocidos el escualeno y el lanosterol, que participa como molécula precursora del colesterol.
  - **Tetraterpenos**, constituidos por ocho isoprenos (cuatro terpenos). Destacan los carotenoides, que son pigmentos amarillos, rojos y anaranjados presentes en las plantas.
  - **Politerpenos**, constituidos por más de ocho isoprenos (varios terpenos). El más conocido es el caucho que está formado por miles de moléculas de isopreno.
- **Prostaglandinas,** son derivadas del ácido prostanoico y del araquidónico. En los mamíferos se encuentran en el pulmón,

la mucosa gastrointestinal, el bazo, la glándula tiroides, el riñón, el líquido amniótico y secreciones del endometrio.

Fig. 2.27. diversidad de Prostaglandinas



Fuente: Horton 2008

- **Vitaminas liposolubles,** como la vitamina A (síntesis de pigmentos visuales en animales), la vitamina E (en las membranas biológicas) y la vitamina K (estimula la síntesis de algunos factores de coagulación sanguínea).

2.2.2.4 Funciones de los lípidos

a) **Estructural,** hay lípidos que constituyen el 40% de las membranas celulares como los fosfolípidos.

b) **Energética**, participan como fuente de energía, así un gramo de lípido produce aproximadamente 9,3 kilocalorías.

c) **Termoaislante,** al almacenarse en el tejido subcutáneo, forman una barrera que impide la pérdida de calor producido por el tejido muscular.

d) **Reguladora,** algunos lípidos actúan como hormonas: la testosterona y los estrógenos. Asimismo, las vitaminas A, D, E y K, participan en procesos importantes como la fotorrecepción, absorción de calcio, antioxidante y coagulación respectivamente.

2.2.3 LAS PROTEÍNAS

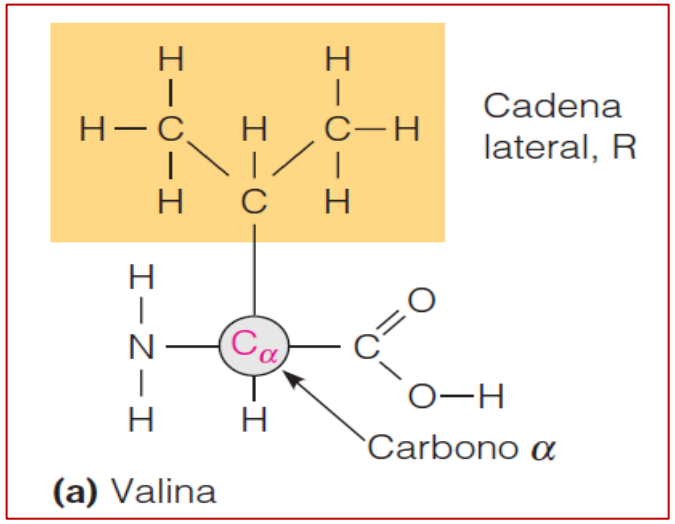
Son biomoléculas orgánicas cuaternarias de elevado peso molecular, su nombre significa “el primero o en primer lugar”. Son las macromoléculas más abundantes en los seres vivos. Contienen C, H, O y N, aunque a veces pueden contener

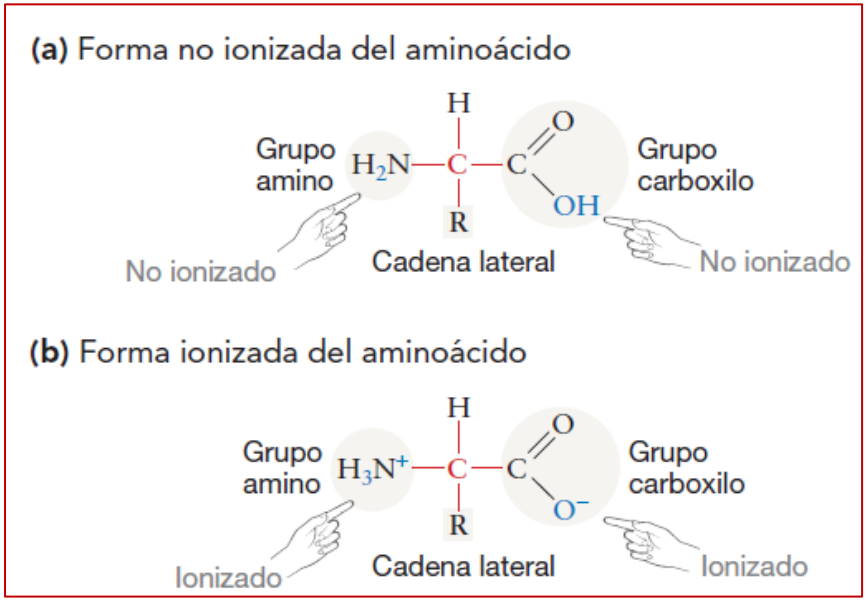
adicionalmente S. Están constituidas por unidades estructurales llamadas aminoácidos que son 20 (de origen proteico). (Pérez, 2013)

2.2.3.1 Los aminoácidos:

Son ácidos orgánicos que contiene un grupo amino y otro carboxilo, separados entre sí por un solo carbono, el carbono α, que se encuentra entre el grupo amino y el grupo carboxílico, unido a una cadena lateral R que puede ser desde un –H hasta un grupo aromático. (Pérez, 2013)

Fig. 2.28. a) Estructura de un aminoácido no ionizado y b) forma ionizada





Fuente: Mathews et al. 2008; Freeman et al. 2009

Clasificación de los aminoácidos

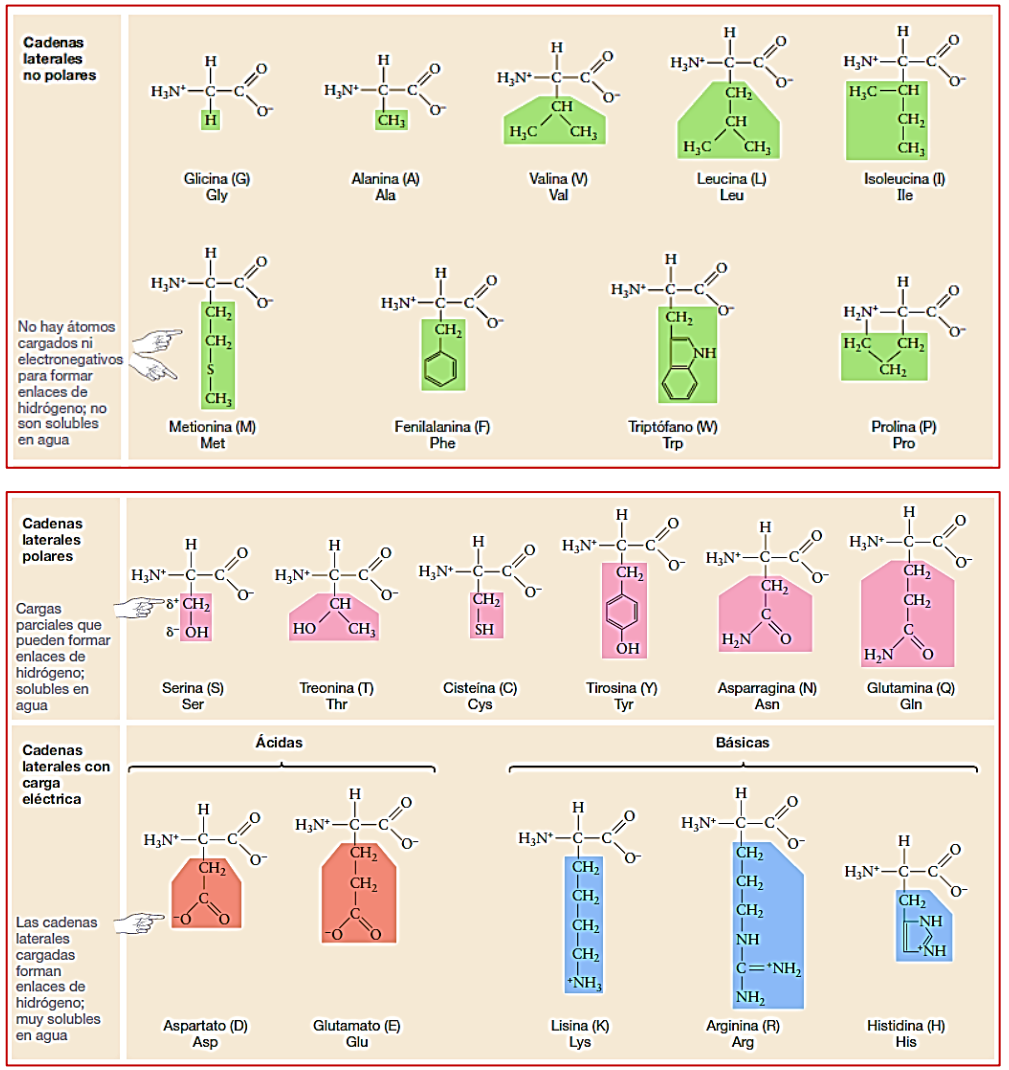
Los aminoácidos se clasifican habitualmente según las propiedades de su cadena lateral (R):

- Neutros polares, polares o hidrófilos: serina (Ser, S), treonina (Thr, T), glutamina (Gln, Q), asparagina (Asn, N), tirosina (Tyr, Y), cisteína (Cys, C) y glicina (Gly, G).
- Neutros no polares, apolares o hidrófobos: alanina (Ala, A), valina (Val, V), leucina (Leu, L), isoleucina (Ile, I), metionina

(Met, M), prolina (Pro, P), fenilalanina (Phe, F), y triptófano (Trp, W).

- Con carga negativa o ácidos: ácido aspártico (Asp, D) y ácido glutámico (Glu, E).
- Con carga positiva o básicos: lisina (Lys, K), arginina (Arg, R) e histidina (His, H).
- Aromáticos: fenilalanina (Phe, F), tirosina (Tyr, Y) y triptófano (Trp, W).

Fig. 2.29. aminoácidos según su tipo de cadena

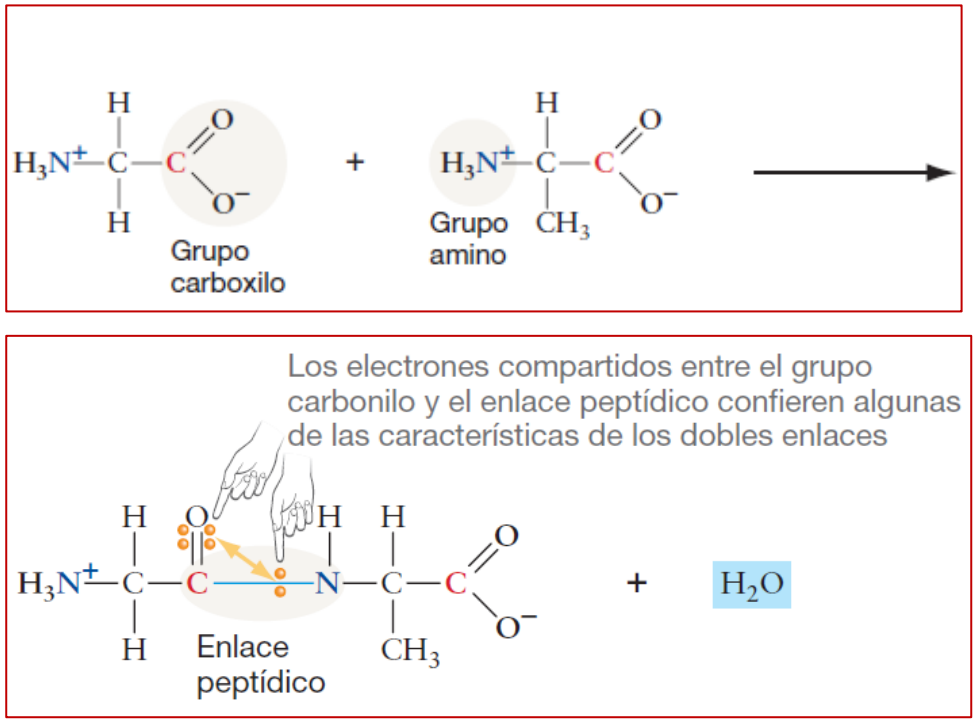

Cadenas laterales no polares
Glicina (G) Gly
Alanina (A) Ala
Valina (V) Val
Leucina (L) Leu
Isoleucina (I) Ile
No hay átomos cargados ni electronegativos para formar enlaces de hidrógeno; no son solubles en agua
Metionina (M) Met
Fenilalanina (F) Phe
Triptófano (W) Trp
Prolina (P) Pro
Cadenas laterales polares
Cargas parciales que pueden formar enlaces de hidrógeno; solubles en agua
Serina (S) Ser
Treonina (T) Thr
Cisteína (C) Cys
Tirosina (Y) Tyr
Asparragina (N) Asn
Glutamina (Q) Gln
Cadenas laterales con carga eléctrica
Ácidas
Básicas
Las cadenas laterales cargadas forman enlaces de hidrógeno; muy solubles en agua
Aspartato (D) Asp
Glutamato (E) Glu
Lisina (K) Lys
Arginina (R) Arg
Histidina (H) His

Fuente: *Freeman et al. 2009*

2.2.3.2 El enlace peptídico:

Se forma por la reacción entre el grupo ácido (-COOH) de un aminoácido y el grupo amino (-NH_2) de otro aminoácido, con la liberación de una molécula de agua.

Fig. 2.30. Formación del enlace peptídico


Grupo carboxilo
Grupo amino
Los electrones compartidos entre el grupo carbonilo y el enlace peptídico confieren algunas de las características de los dobles enlaces
Enlace peptídico
H_2O

Fuente: Freeman et al. 2009

2.2.3.3 Los péptidos:

Stryer (2008) señala que: La mayoría de cadenas polipetídicas naturales contienen entre 50 y 2000 residuos de aminoácidos y se conocen como proteínas.

Tomando en cuenta el número de aminoácidos el peso molecular de una proteína está entre 5500 y 220 000 Kd (kilodaltons) y las sustancias consistentes en un pequeño número de aminoácidos se llaman oligopéptidos o simplemente péptidos, cuyo peso molecular debe ser aproximadamente menor a los 5500 Kd.

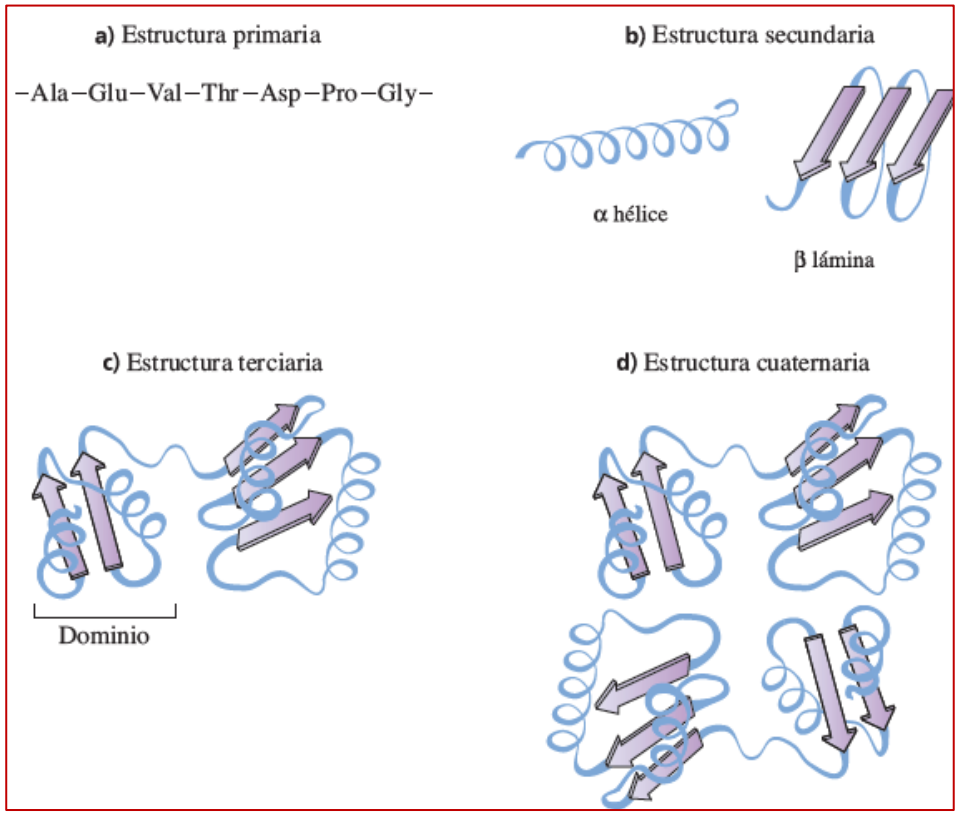
Entre los péptidos más importantes tenemos:

- **Oxitocina (9AA)**, hormona producida en el hipotálamo y ayuda a la contracción del útero durante el parto.
- **Vasopresina (9AA)**, hormona producida en el hipotálamo y ayuda a la reabsorción renal del agua.
- **Insulina (51 AA)**, hormona producida en el páncreas, tiene como objetivo disminuir la glucosa en la sangre (Hipoglicemiante)
- **Glucagón (29AA)**, hormona producida por el páncreas y actúa como un hiperglicemiante.

2.2.3.4 Niveles estructurales de las proteínas: Presenta 4 estructuras:

- **Estructura primaria:** Se refiere a la secuencia de aminoácidos en la cadena polipeptídica, de manera simple un aminoácido seguido del otro formando cadenas lineales. El único enlace presente es el peptídico (amida).
- **Estructura secundaria:** Es la disposición espacial de los aminoácidos que componen una proteína. Posee dos enlaces: el peptídico y el puente de hidrógeno. Esta estructura puede adquirir tres configuraciones: α-hélice, β-plegada y ɣ o al azar.
- **Estructura terciaria:** Es la disposición de la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma originando una conformación globular. Esta conformación facilita la solubilidad en el agua y así realizar funciones de transporte, enzimática, hormonales, etc. Posee además del enlace peptídico, los enlaces puente hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, puentes disulfuro, puentes salinos y las interacciones hidrofóbicas.
- **Estructura cuaternaria:** Formada por la unión mediante enlaces débiles de varias cadenas polipeptídicas con estructura terciaria para formar un complejo proteico. Cada una de estas cadenas polipeptídicas recibe el nombre de protómero, por ejemplo, dos cadenas polipeptídicas constituyen la hexoquinasa; 4 cadenas, la hemoglobina y muchas cadenas como la cápside del virus de la poliomielitis (60 unidades proteicas).

Fig. 2.31. Niveles estructurales de las proteínas



Fuente: Horton 2008

2.2.3.5 Propiedades de las proteínas

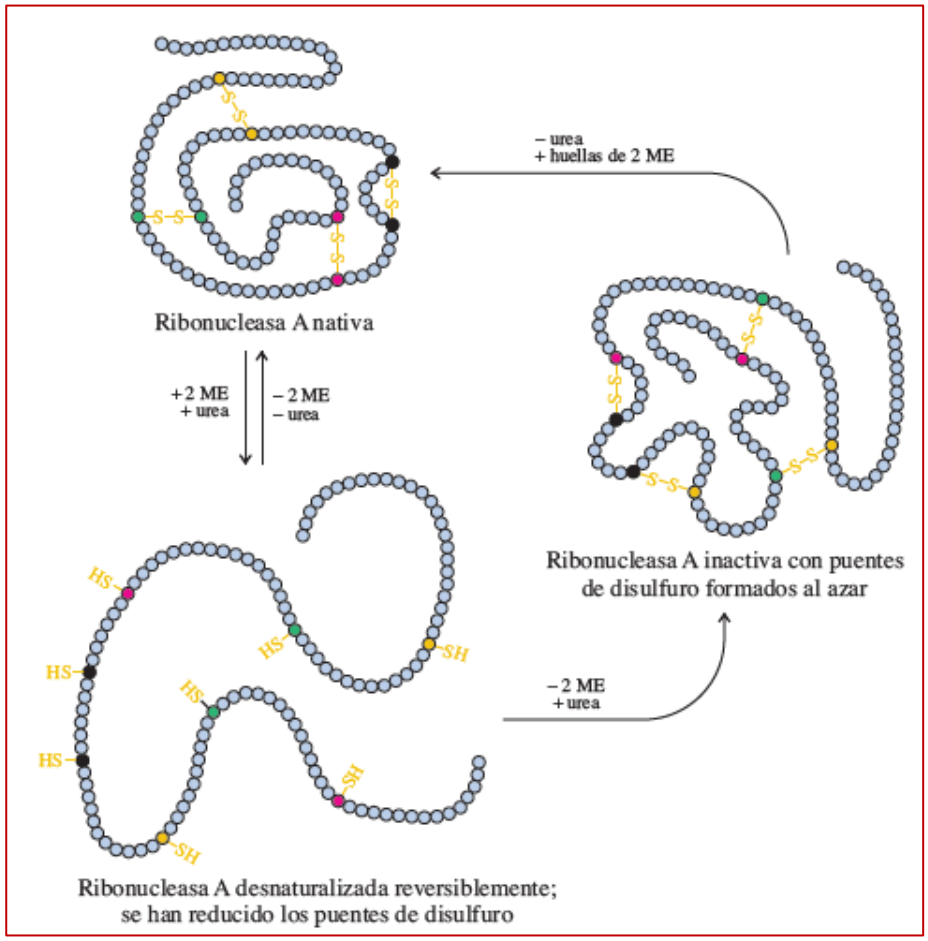
a) **Alta especificidad:** Es la capacidad de una proteína de unir una molécula con preferencia a otra, debido a que cada individuo tiene proteínas específicas propias que se ponen de manifiesto en los procesos de rechazo de órganos trasplantados. (Lodish, 2005).

b) **Solubilidad:** Cuando adoptan una conformación globular, esto hace posible la hidratación de los tejidos de los seres vivos.

c) **Amortiguador:** Debido a su carácter anfótero puede ceder o captar hidrógenos dependiendo de las características del medio, es decir que puede actuar como ácido o base.

d) **Desnaturalización:** Es la desorganización de la estructura secundaria, terciaria o cuaternaria de las proteínas, lo que conlleva a la pérdida de sus propiedades y funciones naturales, que es producida por cambios de temperatura, pH extremos, solventes orgánicos, detergentes, urea a altas concentraciones, etc. hongos (Pérez, 2013)

Fig. 2.32. La desnaturalización y reutilización de una proteína.


– urea
+ huellas de 2 ME
Ribonucleasa A nativa
+2 ME
+ urea
– 2 ME
– urea
Ribonucleasa A inactiva con puentes de disulfuro formados al azar
– 2 ME
+ urea
Ribonucleasa A desnaturalizada reversiblemente; se han reducido los puentes de disulfuro

Fuente: Horton 2008

2.2.3.6 Clasificación de las proteínas

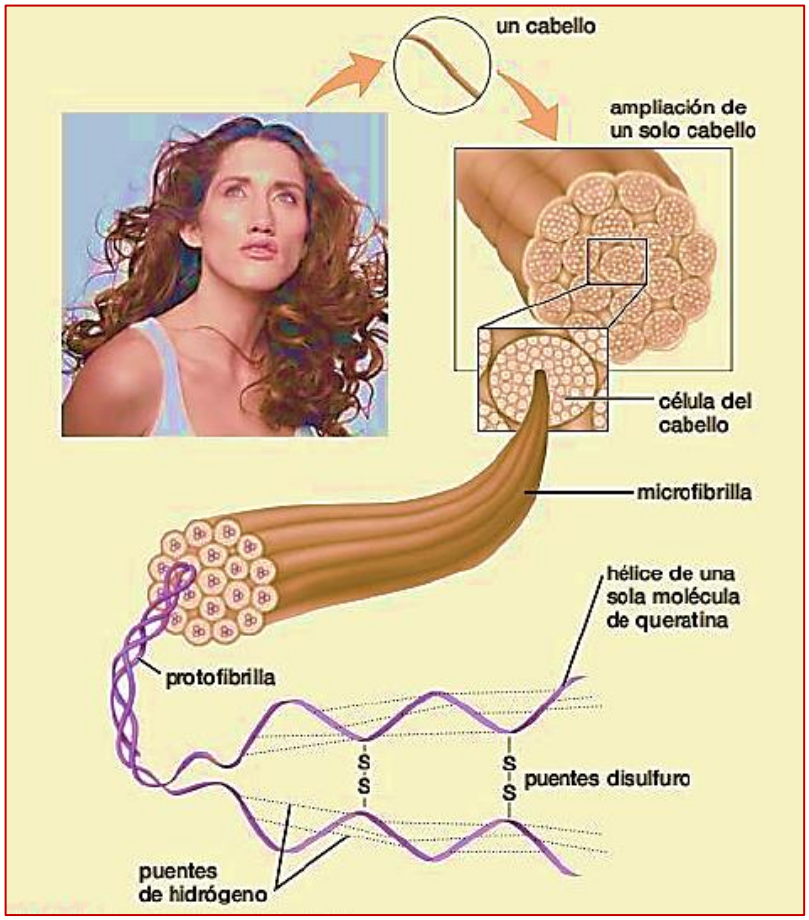
Las proteínas se clasifican en dos grupos:

a) Holoproteínas: Formadas solamente por aminoácidos, pueden ser:

a.1 Proteínas fibrosas. Son insolubles en agua, alargadas y en formas de hilo y tienden a juntarse para dar fibras, sirven como material estructural de los tejidos animales. Aquí se encuentran:

- **Queratina**: En formaciones epidérmicas: pelos, uñas, cuernos y plumas.
- **Colágeno**: En tejidos conjuntivos.
- **Elastinas**: En tendones y vasos sanguíneos.
- **Fibroínas**: En hilos de seda (arañas, insectos).
- **Fibrina**: En los coágulos sanguíneos.
- **Miosina**: Junto con la actina se encargan del movimiento en células musculares.

Fig. 2.33. estructura del cabello



Fuente: Audesirk y Byres 2013

a.2 Proteínas globulares. Son solubles en agua y se encuentran dobladas formando unidades compactas que a menudo tienen una forma esférica; están relacionadas con el mantenimiento y regulación del proceso de la vida, por ejemplo:

- **Ovoalbúmina**: Se encuentra en la clara del huevo.
- **Hordeína**: Presente en la cebada.
- **Lactoalbúmina**: Presente en el suero de la leche producido por los mamíferos.
- **Histonas**: Unidas al ADN formando los nucleosomas.
- **Hemoglobina**: Se ubica en los glóbulos rojos, transportan O_2 gracias al Fe^{++}.
- **Enzimas**: Son proteínas que aceleran las reacciones químicas (biocatalizadores).
- **Actina:** Forman los microfilamentos, importantes para la contracción muscular.

b) Heteroproteínas: Formadas por aminoácidos y por un grupo no proteínico llamado grupo prostético, por ejemplo:

- **Glucoproteínas**: Anticuerpos, interferón, mucina.
- **Fosfoproteínas**: Caseína, vitelina.
- **Hemoproteínas**: Hemoglobina, mioglobina, citocromos.

- **Metaloproteínas**: Plastoquinona, plastocianina.

2.2.3.7 Funciones de las proteínas

Las proteínas desempeñan diversos roles biológicos y son instrumentos moleculares mediante los que se expresa la información genética. (Melo, 2018). A continuación, detallaremos algunas de sus funciones:

- **Energética:** Fuente de reserva energética de los seres vivos. Pueden llegar a producir (4,1 Kcal/g).
- **Biocatalizadora:** Las enzimas son proteínas que aceleran las reacciones bioquímicas que ocurren en los seres vivos.
- **Hormonal:** Muchas proteínas desempeñan un rol de hormona como: Insulina, glucagón, hormona del crecimiento, calcitonina, entre otras.
- **Estructural:** Algunas proteínas cumplen un rol estructural como es el caso de las glucoproteínas que forman parte de las membranas, las histonas que forman parte de los cromosomas, la queratina que forma parte de la epidermis.
- **Defensiva:** Participan en la defensa del organismo como es el caso de las Inmunoglobulinas, fibrinógeno, protrombina.
- **Transporte:** Participan en el transporte de diferentes moléculas como la hemoglobina, hemocianina, ceruloplasmina (transporta cobre), citocromos (transporta electrones), etc.
- **Reserva:** Son capaces de almacenar sustancias que más adelante serán utilizadas por los organismos, como por ejemplo la ovoalbúmina de la clara de huevo, lactoalbúmina de la leche, gliadina del grano de trigo.
- **Reguladora:** Regulan la expresión de ciertos genes y otras regulan la división celular (como las ciclinas).
- **Motora o contráctil:** Como la actina y miosina que constituyen las miofibrillas de la contracción muscular y la dineína relacionada con el movimiento de cilios y flagelos.
- **Homeostática:** Algunas mantienen el equilibrio osmótico y actúan con otros sistemas amortiguadores para mantener constante el pH del medio interno.

2.2.4 LOS ÁCIDOS NUCLEICOS

Son moléculas poliméricas de elevado peso molecular formadas por unidades estructurales llamadas nucleótidos, están constituidos por cinco bioelementos C, H, O, N, y P. Tienen gran

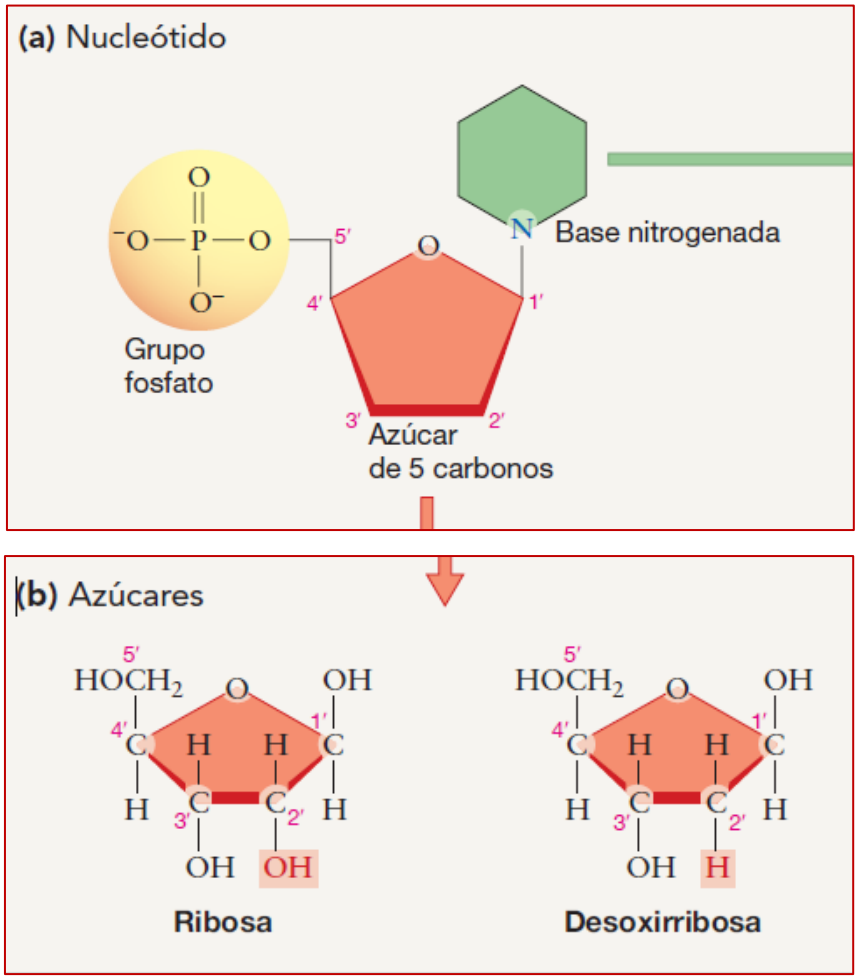
importancia biológica debido a que son el depósito fundamental de la información genética de la célula y los que controlan la síntesis bioquímica de las proteínas.

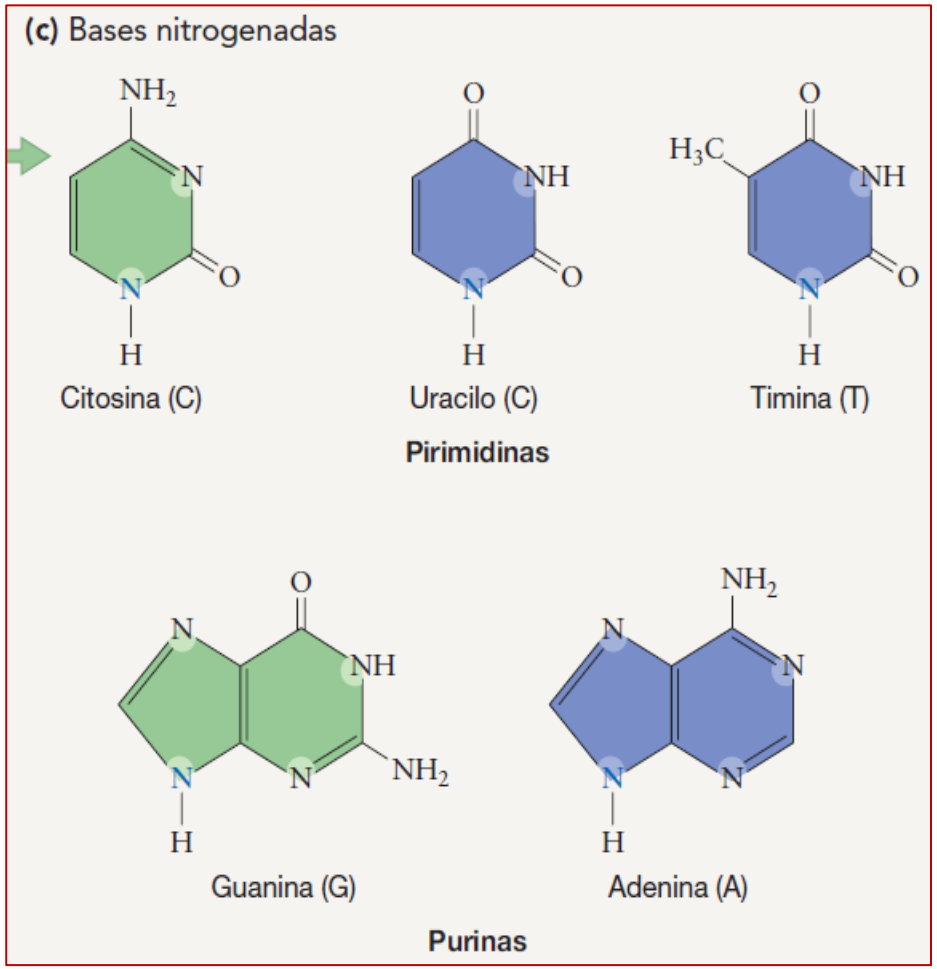
2.2.4.1 El nucleótido

Son las unidades monoméricas que conforman los ácidos nucleicos, todos tienen una estructura común y están constituido por una base nitrogenada, un azúcar pentosa y una molécula de ácido fosfórico (Lodish, 2005).

- **Base nitrogenada:** Son compuestos formados por uno o dos anillos de carbono y nitrógeno. Se conocen dos tipos de bases que constituyen los ácidos nucleicos: **Las bases Púricas o Purinas** (Adenina y Guanina) y **las bases Pirimídicas o Pirimidinas** (Citosina, Timina y Uracilo).

Fig. 2.34. Estructura molecular de los nucleótidos





Fuente: Freeman et al. 2009

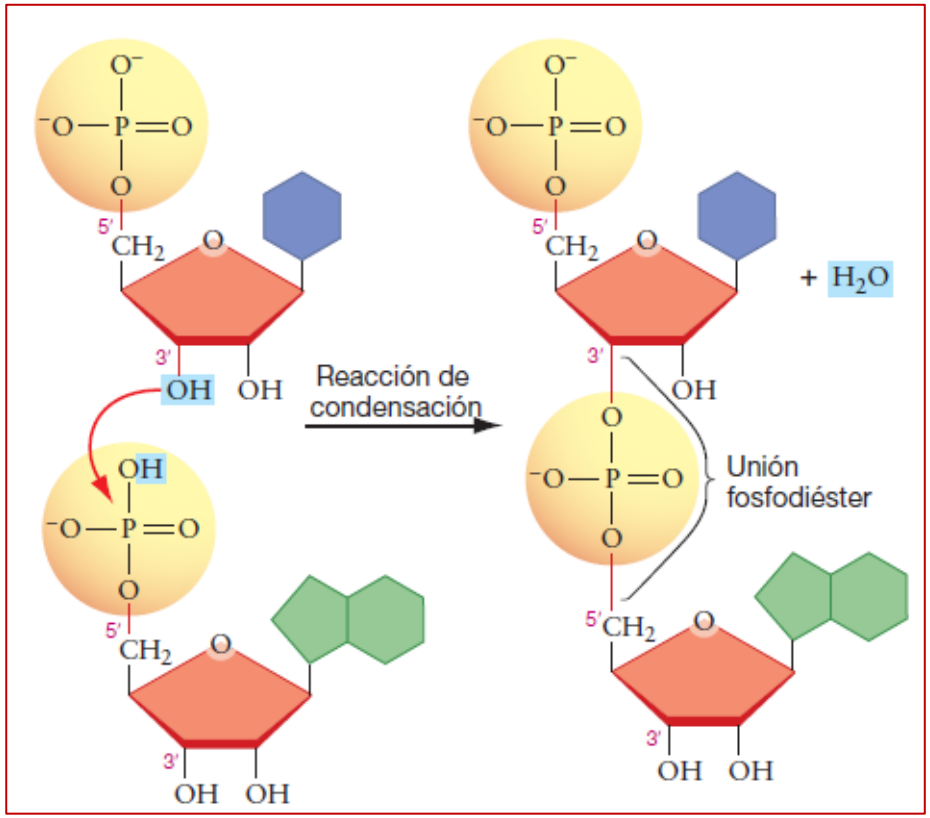
- **Pentosa**: Azúcares compuestos de cinco átomos de carbono, son característicos para cada ácido nucleico. Tenemos: la ribosa (ARN) y la desoxirribosa (ADN).
- **Ácido fosfórico (ortofosfórico):** Constituye el grupo fosfato de los ácidos nucleicos, les confiere las propiedades ácidas al ADN y al ARN.

Nucleósido: Está constituido por la pentosa y una base nitrogenada. Por ejemplo: Desoxiadenosina.

2.2.4.2 Enlace Fosfodiéster

Es el enlace característico de los ácidos nucleicos que permite la unión de los nucleótidos. Este se forma cuando el grupo hidroxilo en el extremo 3’ de un nucleótido se une al grupo fosfato en el extremo 5’ de otro nucleótido con desprendimiento de agua. (Lodish, 2005).

Fig. 2.35. Formación del enlace fosfodiéster, los nucleótidos pueden polimerizarse mediante reacciones de condensación.



Fuente: Freeman et al. 2009

2.2.4.3 Los Polinucleótidos

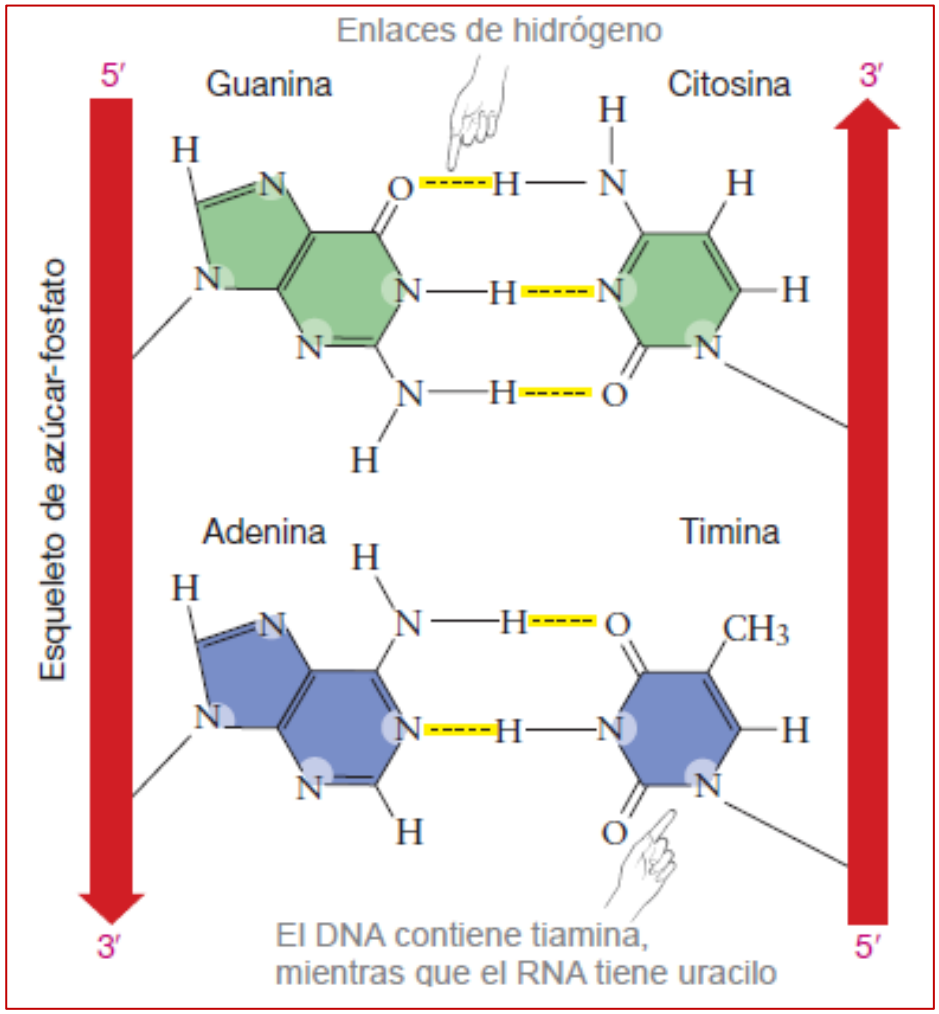
Los polinucleótidos son cadenas lineales de nucleótidos en los que los grupos fosfato están esterificados a los hidroxilos 5' y 3' de dos nucleótidos consecutivos. Como consecuencia, cada polinucleótido contiene únicamente un OH libre en el grupo fosfato en posición 5' (extremo 5' fosfato) y un OH libre en posición 3' (extremo 3'). Los dos polinucleótidos presentes en los seres vivos son el ácido ribonucleico (ARN) y el ácido desoxirribonucleico (ADN).

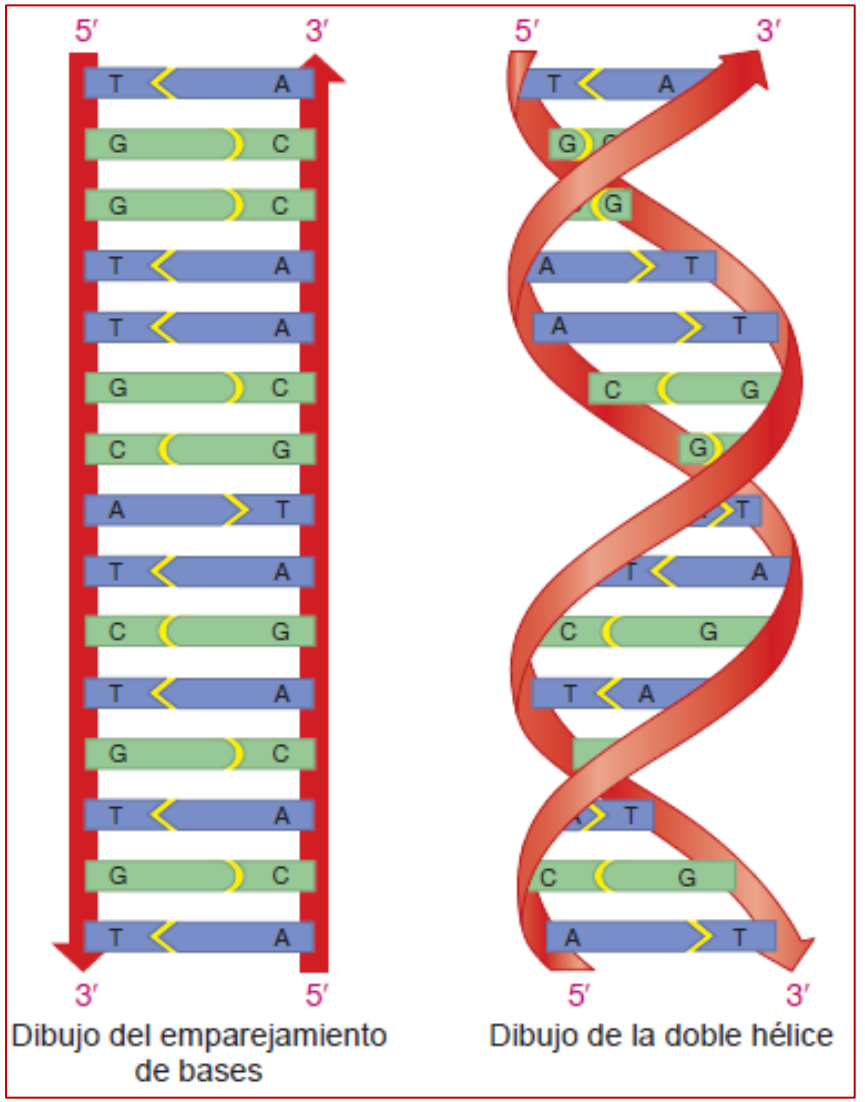
2.2.4.4 Ácido desoxirribonucleico (ADN):

Es una gran macromolécula constituida por dos cadenas antiparalelas de polinucleótidos formando una doble hélice de gran longitud presente en el núcleo, mitocondria y cloroplastos de las células. (Melo, 2018 y Pérez, 2013)

El nucleótido del ADN, se halla constituido por un azúcar que es la desoxirribosa; una base nitrogenada que puede ser la adenina, timina, citosina y guanina y el grupo fosfato. Las dos cadenas de polinucleótidos que forman el ADN se unen a través de las bases nitrogenadas, de tal manera que la timina (T) se une siempre a la adenina (A) o viceversa a través de dos puentes de hidrógeno y la guanina (G) se une a la citosina (C) por tres puentes hidrógeno, es decir que son cadenas complementarias.

Fig. 2.36. Estructura de la molécula de ADN





Fuente: Freeman et al. 2009

En la célula eucariota tenemos tres tipos:

- ADN nuclear, que se encuentra en el núcleo y que guarda toda la información genética del organismo.
- ADN mitocondrial presente en las mitocondrias y que posee información para sintetizar proteínas mitocondriales
- ADN del cloroplasto, que contiene información para producir proteínas cloroplásticas.

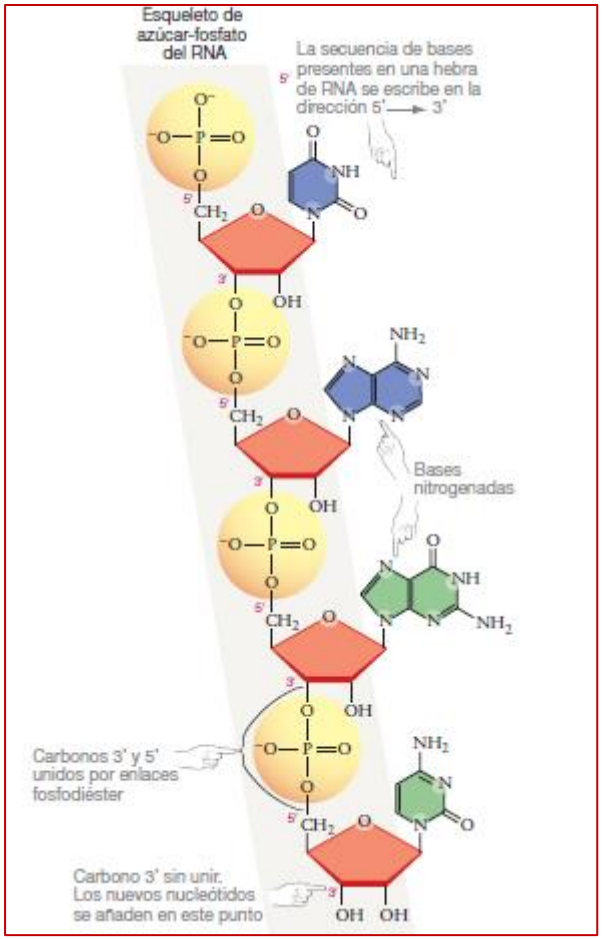
Funciones:

- Responsable de almacenar la información hereditaria de todos los seres vivos,
- Transmite la información genética debido a que se puede autoduplicar (replicación) lo cual asegura que cada célula hija que se forme durante la división celular, tenga el material genético necesario.

2.2.4.5 Ácido ribonucleico (ARN):

Es una macromolécula constituida por una cadena de nucleótidos; se le encuentra en los virus, las bacterias, los vegetales y animales. El nucleótido está constituido por el azúcar ribosa; una base nitrogenada que puede ser la adenina, guanina, citosina y uracilo; y el grupo fosfato.

Fig. 2.37. Estructura de la molécula de ARN


Esqueleto de azúcar-fosfato del RNA
La secuencia de bases presentes en una hebra de RNA se escribe en la dirección 5' → 3'
Bases nitrogenadas
Carbonos 3' y 5' unidos por enlaces fosfodiéster
Carbono 3' sin unir. Los nuevos nucleótidos se añaden en este punto

Fuente: Freeman et al. 2009

Hay tres clases de ARN:

- **ARNm (mensajero).** Se encuentra en el núcleo. Formado directamente de la cadena de ADN. Copia la información del ADN (en forma de CODONES). Su principal función es la de copiar la información genética presente en el ADN (transcripción) en forma de codones y llevar esa información hacia los ribosomas para la síntesis de proteínas, es decir, lleva el mensaje genético.
- **ARNt (transferencia).** Se encuentra en el citoplasma. Conocido como ARN de transporte (durante el ensamblaje secuencial de los aminoácidos para formar las proteínas según el mensaje leído), sirve como moléculas adaptadoras durante la síntesis de proteínas. Lo que significa que identifican y transportan los aminoácidos hacia los ribosomas. "Reconoce" el mensaje genético presente en el ARNm en forma de CODONES, debido a que el ARNt tiene en uno de sus extremos los ANTICODONES, esta unión codón – anticodón asegura que los aminoácidos sean colocados en un lugar específico durante la síntesis de proteínas.
- **ARNr (ribosomal).** Sustancia fundamental en la formación de los ribosomas. Este tipo de ARN se asocia con proteínas y forman lo que conocemos como ribosomas, donde se realiza la síntesis de proteínas. El complejo proteínas-ácido ribonucleico (ribosoma) sirve como matriz para la correcta unión de los aminoácidos durante la síntesis de proteínas. Se sintetiza en el nucléolo, formando las subunidades ribosomales.

Funciones del ARN:

- Síntesis de proteínas.
- Transporte de aminoácidos.
- Conformación de los ribosomas.

2.2.4.6 Dogma central de la Biología

El dogma central de la biología molecular, es una teoría que sostiene que la información genética fluye en una sola dirección, es decir desde el ADN al ARNm, a través del proceso de transcripción, gracias al ARNm, y a partir de esta información se traducirá en forma de proteínas con ayuda del ARNt.

En el año de 1958, Francis Crick publicó su trabajo con el título de “On protein syntesis” (“Sobre la síntesis proteica”) en donde

expone su hipótesis llamada “Dogma Central de la Biología Molecular”, según él mismo consigna en este trabajo sobre cómo se sintetizan las proteínas a partir de la secuencia de ADN. Según las palabras del mismo autor: "Esto indica que una vez que la información ha pasado a la proteína no puede volver a salir. Dicho de otro modo, es posible transferir información de ácido nucleico a ácido nucleico, o de ácido nucleico a proteína, pero la transferencia de información de proteína a proteína, o de proteína a ácido nucleico no es posible. La hipótesis inicial propuesta por Crick no impedía que se sintetizara una secuencia de ADN a partir de una secuencia de ARN, proceso que, sin embargo, fue demostrado mucho tiempo después.

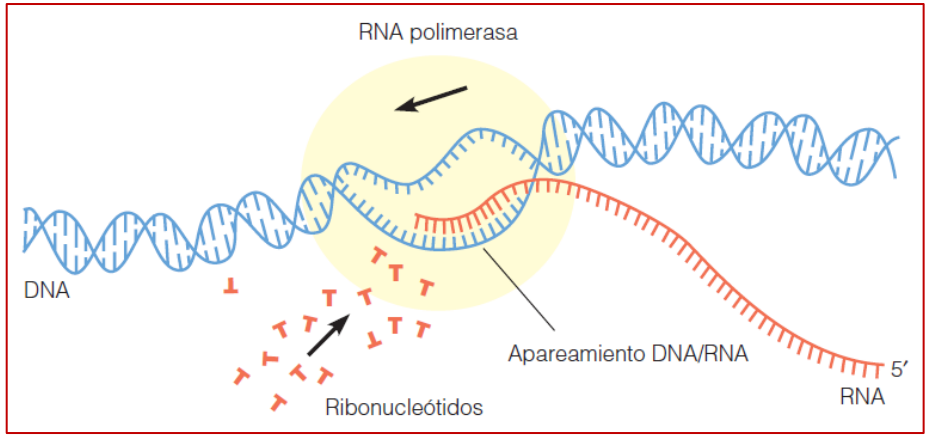
2.2.4.6.1 Transcripción

En este proceso, una cadena del ADN que compone al gen, llamada cadena no codificante, funciona como molde para que una enzima llamada ARN polimerasa sintetice una cadena de ARN correspondiente (complementaria). Esta cadena de ARN se llama transcrito primario.

El transcrito primario tiene la misma secuencia de información que la cadena de ADN que no se transcribió, generalmente llamada cadena codificante. Sin embargo, el transcrito primario y la cadena codificante no son idénticos debido a ciertas diferencias bioquímicas entre el ADN y el ARN. Una diferencia importante es que las moléculas de ARN no contienen la base timina (T). En lugar de timina, las moléculas de ARN utilizan una base similar llamada uracilo (U). El uracilo, al igual que la timina, forma pareja con la adenina.

En células eucariontes el transcrito primario debe someterse a algunos pasos extra para convertirse en un ARNm maduro. Para ello, se añaden casquetes en ambos extremos del ARN y se eliminan cuidadosamente algunas de sus porciones en un proceso conocido como empalme.

Fig.2.38. El proceso de trascripción

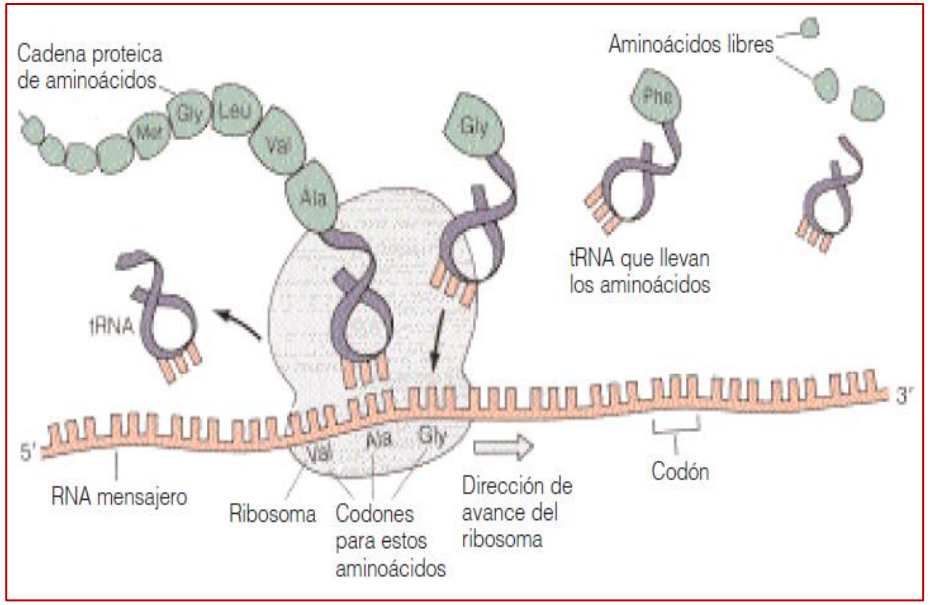


Fuente: Mathews et al. 2008

2.2.4.6.2 Traducción

Después de la transcripción (y de algunos pasos de procesamiento en eucariontes), la molécula de ARNm está lista para dirigir la síntesis de proteínas. El proceso de usar información de un ARNm para producir un polipéptido se llama traducción.

Fig.2.31. El proceso de traducción

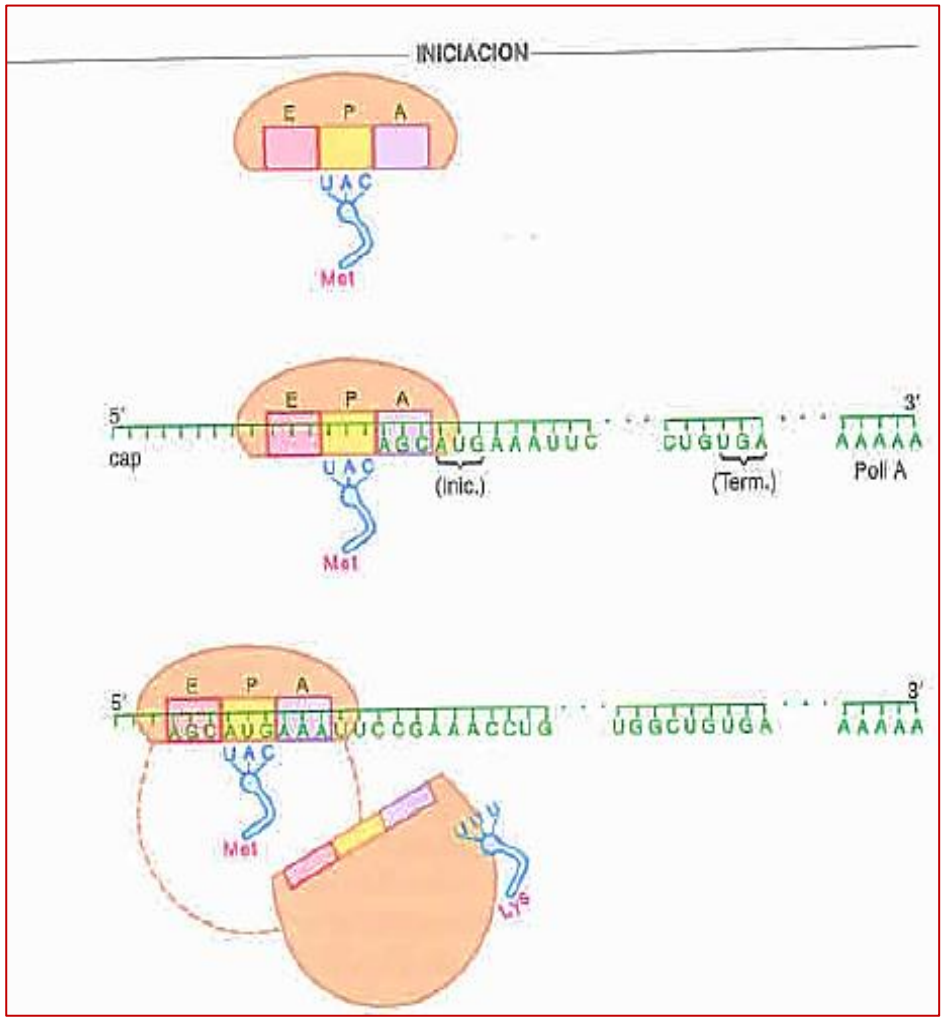


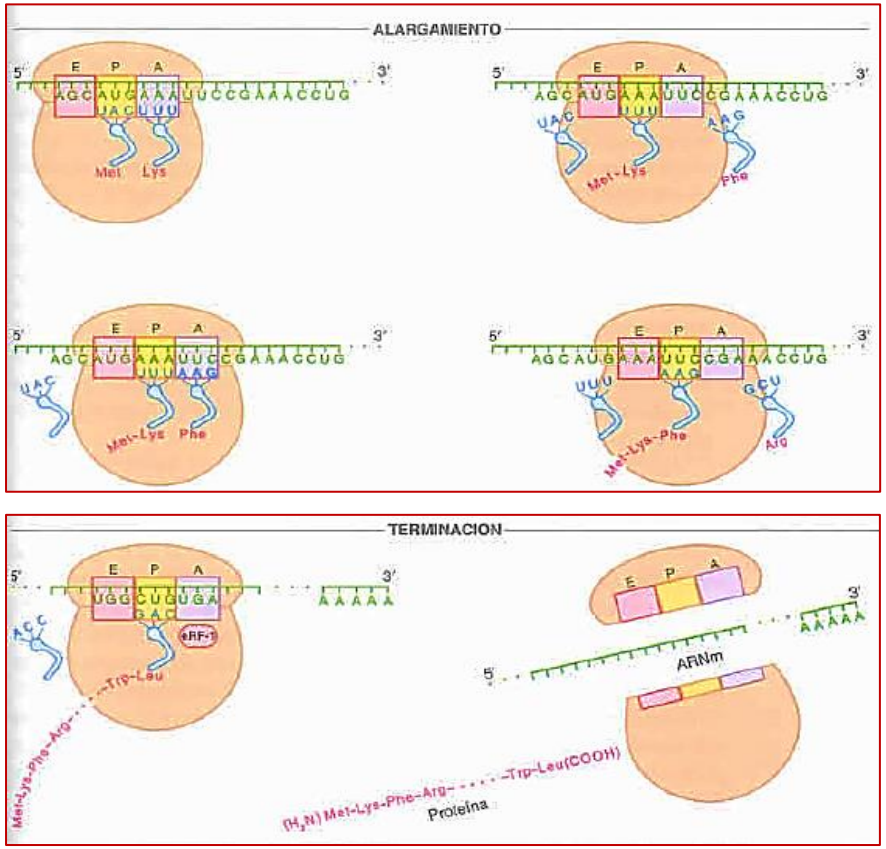
Fuente: Mathews et al. 2008

2.2.4.6.3 Síntesis de proteínas

Una vez se tenga el ARNm con a información específica en forma de codones, obtenida del ADN por transcripción, esta se dirige al ribosoma, donde el proceso continúa por acción del ARNt, el cual transporta un aminoácido específico y lo coloca en un codón determinado del ARNm, el reconocimiento del codón por el ARNt se da gracias al anticodón (lo contrario a un codón) que posee, esto asegura obtener una secuencia correcta de aminoácidos para formar una proteína específica. Esta relación codón, anticodón, aminoácido obedece al código genético.

Figura 2.32. Etapas de la síntesis de las proteínas





Fuente: Robertis 2002

2.2.4.6.4 Código genético

El código genético, permite que las secuencias de ADN y de ARN se "decodifiquen" en los aminoácidos de una proteína.

Los genes que contienen instrucciones para generar proteínas

se expresan por medio de dos pasos.

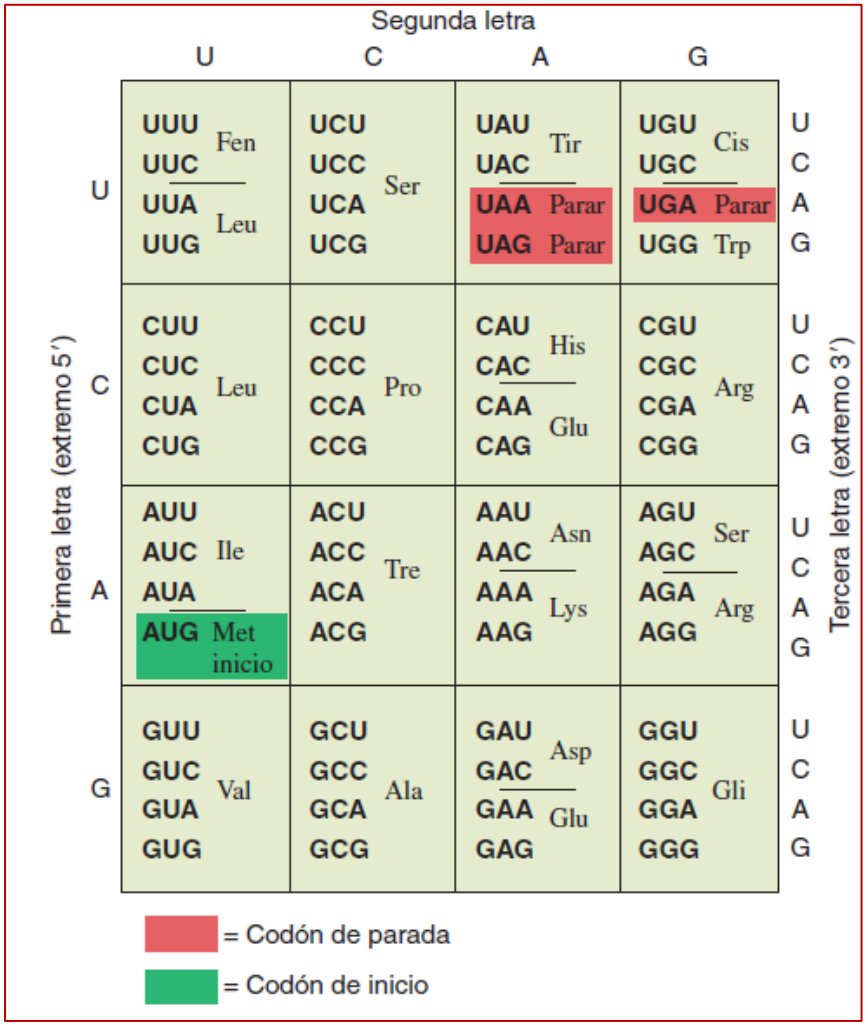
- La transcripción, la secuencia de ADN de un gen se "vuelve a escribir" en forma de ARNm.
- La traducción, en esta etapa la secuencia de nucleótidos del ARNm se "traduce" en una secuencia de aminoácidos de un polipéptido (cadena proteica).

Las células decodifican el ARNm al leer sus nucleótidos en grupos de tres, conocidos como codones. La mayoría de los codones especifican un aminoácido, tres codones de "terminación" marcan el fin de una proteína. Un codón de "inicio", AUG, marca el comienzo de una proteína y además codifica para el aminoácido metionina.

Los codones en un ARNm se leen durante la traducción; se comienza con un codón de inicio, y se sigue hasta llegar a un codón de terminación. Los codones de ARNm se leen de 5' a 3' y especifican el orden de los aminoácidos en una proteína de N-terminal (metionina) hasta C-terminal.

El conjunto completo de relaciones entre los codones y los aminoácidos (o señales de terminación) se conoce como el código genético, el cual se puede resumir en el siguiente cuadro:

Fig. 2.33: El código genético



Fuente: Solomon et al. 2013

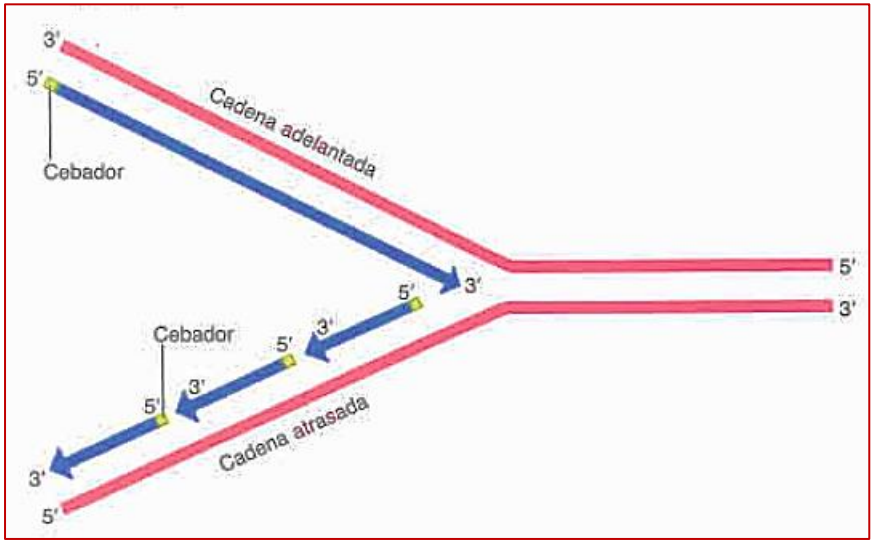
En la figura se observa que muchos aminoácidos están representados por más de un codón. Como ejemplo, hay seis formas distintas de "escribir" leucina en el lenguaje del ARNm.
Una característica importante del código genético es que es universal. Es decir, con pequeñas excepciones, prácticamente todas las especies usan el código genético para la síntesis de proteínas.

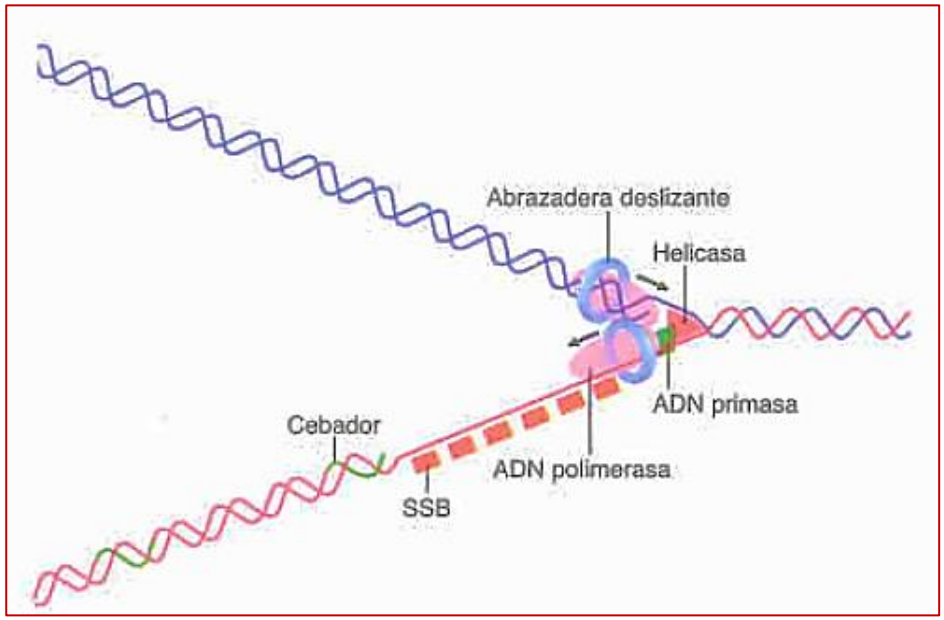
2.2.4.6.5 Replicación del ADN

La replicación del ADN consiste en obtener una copia exacta del material genético para que sea transmitido a la siguiente generación de células. Es un proceso complejo y para lograrlo necesita una serie de enzimas, la replicación presenta algunas características:

- Es semiconservativa. Cada cadena de la doble hélice funciona como un molde para la síntesis de otra cadena nueva, es decir la cadena complementaria.
- La enzima conocida como ADN polimerasas producen el ADN nuevo, para ello se requiere de un molde, y un cebador o primer (cadena de ácido nucleico que sirve como punto de partida para la replicación), la formación de la cadena de ADN es en dirección 5' a 3'.
- Durante el proceso de replicación del ADN, una de las cadenas nuevas se forma de manera continua. La otra (la cadena rezagada) lo hace de forma discontinua o en pequeños fragmentos, llamados, fragmentos de Okazaki.
- Para la replicación del ADN se requiere de otras enzimas, además de ADN polimerasa, está la ADN primasa, ADN helicasa, ADN ligasa y la topoisomerasa.

Fig. 2.34. Mecanismo de replicación del ADN





Fuente: Robertis 2002

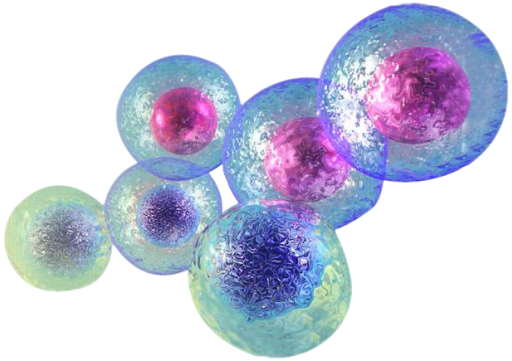
BIBLIOGRAFÍA

1. Baynes, J., & Dominiczak, M. (2019). *Bioquímica médica* (5ª ed.). Elsevier.
2. Brack, A., & Mendiola, C. (2000). *Ecología del Perú*. Editorial Bruño.
3. De la Llata, M. (2006). *Ecología y medio ambiente*. Editorial Progreso.
4. Eyzaguirre, J. (1975). *Química de los hidratos de carbono*. Editorial Andrés Bello.
5. Sarmiento, F. O. (2000). *Diccionario de ecología*. Editorial Abya Yala.
6. Fraume, J. (2006). *Abecedario ecológico*. Editorial San Pablo.
7. Gil, A. (2010). *Tratado de nutrición* (Vol. II, 2ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
8. Gliessman, S. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Editorial Litocat.
9. Granillo, P., Valdivia, B., & Villarreal, M. (2014). *Biología general de los sistemas vivientes*. Grupo Editorial Patria.
10. Koolman, J., & Rohm, K. (2004). *Bioquímica* (3ª ed.). Editorial Panamericana.
11. Lodish, H., Berk, A., Matsudaira, P., Kaiser, C., Krieger, M., Scott, M., Zipursky, S., & Darnell, J. (2005). *Biología celular y molecular* (5ª ed. en español). Editorial Médica Panamericana.

12. López, I., Chagollan, F., Del Campo, J., García, R., & Contreras, I. (2006). *Ecología*. Editorial Umbral.
13. Melo, V., & Cuamatzi, O. (2018). *Bioquímica de los procesos metabólicos* (3ª ed.). Editorial Reverté.
14. Malacalza, L. (2002). *Ecología general* (2ª ed. virtual). Buenos Aires.
15. Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2004). *Fundamentals of ecology* (5ª ed.). Thomson/Brooks Cole.
16. Pérez, M., Garcias, S., Kopp, S., Daniele, A., Gonzales, C., & Roccia, P. (2013). *Biología celular en las ciencias agropecuarias*. Editorial Brujas.
17. Sánchez, H., Guerrero, F., & Castellanos, M. (2005). *Ecología*. Editorial Umbral.
18. Stryer, L., & Berg, J. (2008). *Bioquímica*. Editorial Reverté.
19. Valverde, T., Meave, J., Carabias, J., & Cano-Santana, Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. Editorial Pearson.
20. Véjar, I. (2005). *Prácticas de bioquímica descriptiva*. Editorial UniSon.

TEMA 3: CÉLULAS Y CICLO CELULAR

Reconocer la importancia de la célula, las estructuras y funciones de la célula eucariota, las diferencias entre célula animal y vegetal, el ciclo celular y el dominio eubacteria.



3 LA CÉLULA

En la actualidad se considera a la célula como la unidad morfológica y funcional de todos los seres vivos. Morfológica, ya que, todo ser viviente está formado por una o más células, y funcional, debido a que las funciones que caracterizan al ser vivo (nutrición, relación y reproducción) también tienen lugar a nivel celular (De Erize y Gonzales, 2018), Iwasa y Wallace (2019) señalan que la vida es la propiedad básica de la célula y a diferencia de las partes de la célula, que simplemente se deterioran si están aisladas, las células se pueden sacar de un ser vivo y cultivarse en un laboratorio, donde crecerán y se reproducirán por largos periodos (p.3).

3.1 TIPOS DE CÉLULAS

La clasificación más usada, tiene en cuenta el nivel de complejidad celular: procariotas y eucariotas.

3.1.1.1 Semejanzas y diferencias entre células

Características	Célula procariota	Célula animal	Célula vegetal
Membrana celular	Sí	Sí	Sí
Pared celular	Sí (con peptidoglucano)	No	Sí (contiene celulosa)
Núcleo	Sin envoltura nuclear (ausente)	Rodeado por una envoltura nuclear	Rodeado por una envoltura nuclear
Cromosomas	Único, molécula continua de ADN desnudo	Múltiples, consisten en ADN y proteínas histonas	Múltiples, consisten en ADN y proteínas histonas
Retículo endoplasmático	No	Sí	Sí
Mitocondrias	No	Sí	Sí
Plastidios	No	No	Sí en muchos tipos celulares; cloroplastos en células fotosintéticas
Ribosomas	Sí (más pequeños)	Sí	Sí
Aparato de Golgi	No	Sí	Sí
Lisosomas	No	Sí	Sí
Peroxisomas	No	Sí	Sí
Vacuolas	No	Pequeñas o ausentes	Por lo general una sola vacuola grande en la célula madura
Centríolos	No	Sí	No (en las plantas superiores)

3.2 TEORÍA CELULAR

- En 1665, **Robert Hooke** físico, arquitecto y científico inglés, publicó los resultados de sus observaciones microscópicas en tejidos vegetales, específicamente en

el corcho. Hooke denominó a las celdillas observadas como células.

- **Marcelo Malpighi** (1628-1694), anatomista y biólogo italiano, fue el primero en estudiar tejidos vivos con el microscopio.
- En 1674 **Anthon Van Leeuwenhoek**, holandés, construyó microscopios con los que observó por primera vez células vivas: bacterias, protozoos, espermatozoides del hombre, perro, conejo, rana, peces e insectos. Fue el primero en observar una gota de agua estancada, en la que detectó pequeños organismos que denominó 'animálculos' debido a su movimiento.
- En 1805 **Lorenz Oken,** alemán, consideró a los organismos macroscópicos como la fusión o unión de seres primitivos llamados infusorios (organismos que habían perdido su individualidad a favor de una organización superior).
- En 1831 **Robert Brown**, botánico escocés, descubrió en células vegetales un corpúsculo central al que denominó núcleo.
- En 1838 **Matthias Schleiden,** alemán, llegó a la conclusión de que todos los tejidos vegetales estaban formados por células.
- En 1839 **Theodor Schwann**, alemán, extendió las conclusiones de Schleiden a los animales y propuso una base celular para toda forma de vida. Schleiden y Schwann iniciaron y plantearon la “teoría celular” al anunciar que, “todas las células son morfológicamente iguales y que todos los seres vivos están constituidos por una o varias células”, que se resume en: “la célula es la unidad morfológica y funcional del ser vivo”.
- En 1839, el checo **Johannes E. Purkinje** acuñó el término protoplasma para designar el contenido de las células. También es famoso por su descubrimiento de las fibras de Purkinje.

- En 1855, **Rudolph Virchow,** patólogo alemán, acuñó el aforismo “Omnis cellula e cellula” (“cada célula es derivada de otra célula [ya existente]”).
- **Ernst Ruska y Max Knoll,** entre 1925 y 1932, desarrollaron el primer microscopio electrónico, basándose en los estudios de Louis-Víctor de Broglie acerca de las propiedades ondulatorias de los electrones. Este instrumento permitió el estudio de ultraestructuras celulares.

3.3 ESTRUCTURA CELULAR

Los organismos vivos son muy diversos, y los resultados obtenidos de un análisis experimental específico pueden depender del organismo particular que se estudia, Como resultado, los biólogos celulares y moleculares han centrado su actividad en un pequeño grupo de organismos específicos denominados organismos modelos: Una procariota: Escherichia coli y cinco eucariotas: Levadura – *Saccharomyces cerevisiae*, planta – *Arabidopsis thaliana*, nemátodo – *Caenorhabditis elegans*, la mosca de la fruta – *Drosophila melanogaster* y un ratón – *Mus musculus*. Iwasa y Wallace (2018).

Cada uno de estos organismos tiene ventajas específicas que los hacen particularmente útiles al momento de responder ciertas preguntas, en este capítulo expondremos los resultados obtenidos sobre la estructura celular.

3.3.1 ENVOLTURA CELULAR: constituida por:

a) GLUCOCÁLIX:

Se encuentra en la superficie externa de la membrana celular en células animales y algunas bacterias. Está compuesto por una malla de fibras proteicas, como colágeno, elastina y fibronectina, que están inmersas en una matriz gelatinosa de glucoproteínas hidratadas, conocida como sustancia fundamental amorfa. Frasch y De Robertis (2019)

Funciones:

- Actúa como un punto de unión y conexión en los tejidos conectivo, cartilaginoso y conjuntivo.
- Puede acumular sales, originando tejido óseo, o quitina y da lugar a exoesqueletos.
- Reconocimiento celular indispensable para la fecundación.
- Rellena espacios intercelulares.

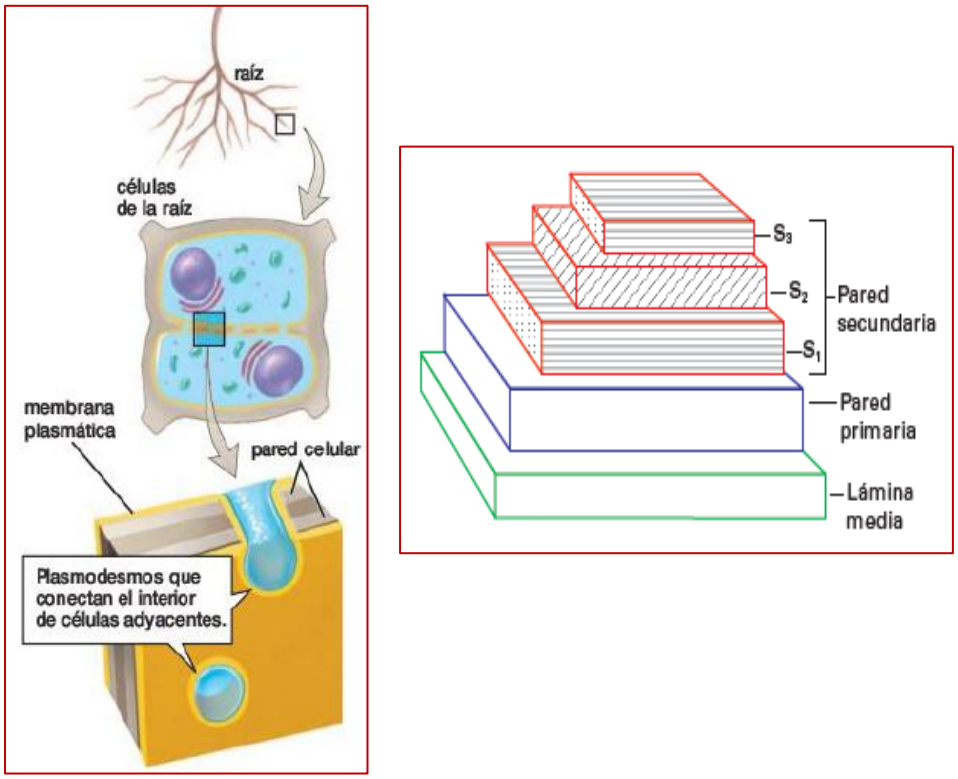
b) PARED CELULAR:

Según Iwasa y Wallace (2019) debido a que el espesor de la membrana plasmática es de menos de 10 nm es de esperarse que ofrezca una protección mínima para el contenido de la célula. Las bacterias, hongos y plantas tienen paredes celulares distintas. En este apartado nos restringiremos al estudio de la pared celular de la célula vegetal. La pared celular de la planta a menudo se compara con el 'hormigón armado': un elemento fibroso incrustado en una matriz no fibrosa. En este caso, la celulosa está organizada en microfibrillas, y las proteínas y pectinas constituyen la matriz.

La pared celular vegetal está constituida por tres partes fundamentales:

- **La sustancia intercelular o lámina media:** Se compone principalmente de compuestos pécticos.
- **La pared primaria:** Compuesta principalmente de celulosa, proteínas y microfibrillas de hemicelulosa.
- **La pared secundaria:** La pared es secretada por la célula viva, de manera que la capa más vieja está hacia afuera, y la capa más joven hacia adentro junto al protoplasma, compuesta principalmente por celulosa.

Fig. 3.1. Estructura de la pared celular y plasmodesmos



Fuente: Paniagua 2007; Audesirk 2008

Funciones:

- Permite el reconocimiento del tubo polínico.
- Confiere rigidez al vegetal y contribuye al mantenimiento de la forma celular.
- Une las células adyacentes, conectando las células de los tejidos vegetales.
- Posibilita el intercambio de fluidos y la comunicación intercelular.
- Permite a las células vegetales vivir en el medio hipotónico de la planta, impidiendo que éstas se hinchen y lleguen a estallar.
- Impermeabiliza la superficie vegetal en algunos tejidos gracias a la cutina y la suberina para evitar las pérdidas de agua.
- Sirve de barrera al paso de agentes patógenos.

3.3.2 MEMBRANA CELULAR

La membrana celular o plasmática constituye el límite entre el citoplasma y el medio en el que se encuentra la célula. Por otro lado, está la membrana citoplasmática, que se ubica entre los orgánulos celulares y el citosol (hialoplasma), dividiendo al interior de la célula en numerosos compartimentos.

Así también, la membrana plasmática posee un espesor aproximado de 75 Å (ångströms). Al observarla con un microscopio electrónico, se presenta como una triple capa. Consta de dos bandas oscuras de 20 Å de grosor, separadas por una banda interna de color claro de 35 Å. Algunas veces, las láminas externas más oscuras pueden tener espesores variados.

Todas las células tienen este tipo de membrana de tres capas. Debido a su presencia generalizada, se le conoce como unidad de membrana.

También, encontramos membranas en la envoltura exterior de muchos orgánulos como los cloroplastos, mitocondrias y vacuolas.

3.3.2.1 Composición química

Las membranas biológicas son conjuntos laminares constituidos aproximadamente por un 40 % de lípidos y un 60 % de proteínas principalmente; asociados a los lípidos y las proteínas también se encuentran oligosacáridos.

a) **Lípidos.** Son moléculas esencialmente anfipáticas, es decir, que sus moléculas poseen un polo hidrófilo y un polo hidrófobo. Los más abundantes son los fosfolípidos (55 % del total de los lípidos), el colesterol (25%) y otros lípidos, glucolípidos y ácidos grasos (20 %) que son enteramente hidrófobos.

La bicapa lipídica no es una estructura rígida; sino que sus componentes se mueven en ella con libertad, confiriéndole fluidez. Las moléculas de lípidos más móviles pueden girar sobre sí mismas (rotación) o intercambiar su posición con otras moléculas de la misma monocapa (difusión lateral).

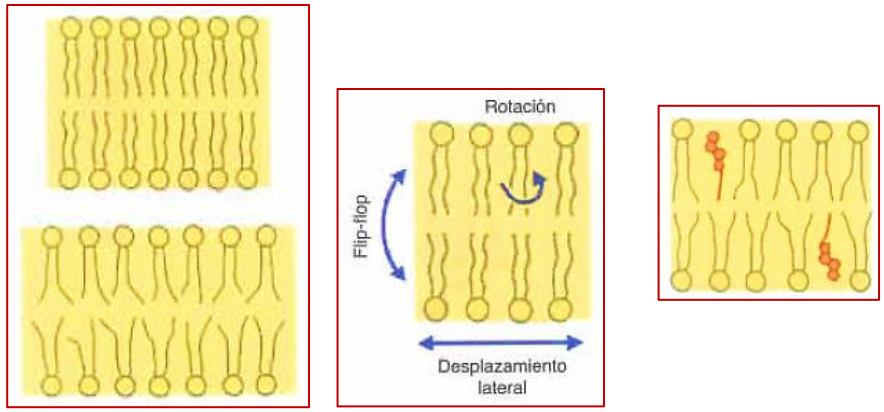
Cuando los lípidos están en un medio acuoso, forman una doble capa conocida como bicapa lipídica. En esta estructura, las regiones polares (hidrófilas) están orientadas hacia el exterior, mientras que las regiones apolares (hidrófobas) se agrupan internamente para protegerse. La bicapa lipídica no es rígida; sus componentes pueden moverse libremente, lo que le proporciona fluidez. Las moléculas de lípidos más móviles pueden rotar sobre sí mismas o intercambiar posiciones con otras moléculas en la misma monocapa, en un proceso llamado difusión lateral.

El intercambio entre moléculas situadas en monocapas distintas (flip-flop) es poco frecuente.

La membrana contiene gran cantidad de lípidos, todos ellos anfipáticos. Existen tres tipos principales de lípidos de membrana: fosfosglicéridos, esfingolípidos y colesterol.

- Los **fosfoglicéridos** tienen un esqueleto de glicerol como base, mientras que los esfingolípidos tienen como base un alcohol llamado esfingosina. La distribución de los lípidos difiere entre las monocapas: en la monocapa externa se encuentran fosfatidilcolina y esfingosina, mientras que en la monocapa interna o citosólica se encuentran otros lípidos, como fosfatidiletanolamina y cardiolipina, entre otros. Esta diferencia en la distribución de los fosfolípidos es parte de la denominada asimetría de la membrana. Alarcón, L., Del Carpio, W., Sanz, A., (2019)
- El **colesterol** contribuye en gran medida a la fluidez de la bicapa, ya que, debido a su pequeño tamaño, dificulta el establecimiento de interacciones hidrofóbicas entre las colas apolares de los lípidos de membrana.

Fig. 3.2. Bicapa lipídica: los dobles enlaces de la bicapa lipídica distancian a los fosfolípidos y la ubicación de las moléculas de colesterol en la membrana, movimiento de los fosfolípidos



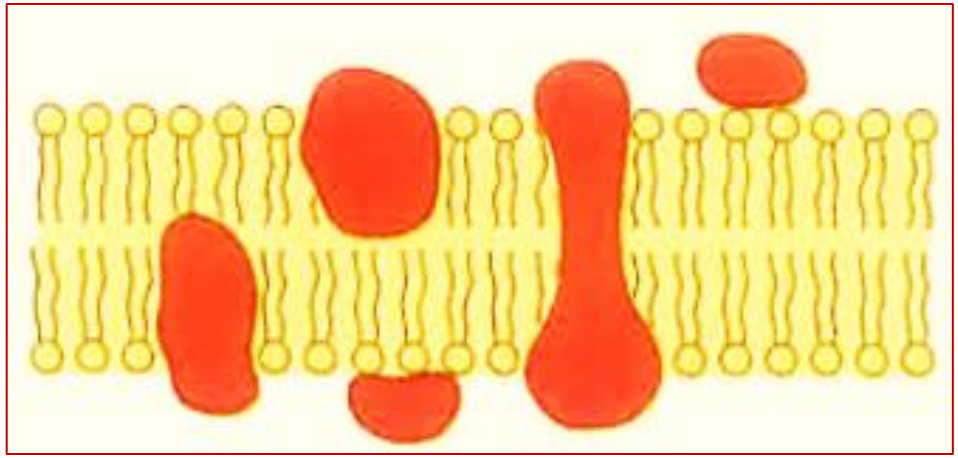
Fuente: Robertis 2002

b) **Proteínas:** Se disponen intercaladas o adosadas a la bicapa de lípidos, y son de diverso tamaño y naturaleza.

Por la intimidad de su relación con la bicapa de lipídica:

- **Proteínas integrales o intrínsecas:** Traspasan completamente la bicapa lipídica y tienen dominios que sobresalen en los lados extracelular y citoplasmático de la membrana. Constituyen aproximadamente el 70% de las proteínas de membrana y son insolubles en agua (hidrófobas).
- **Proteínas periféricas o extrínsecas:** Están débilmente asociadas a los lípidos y se separan con facilidad, ya que están unidas por enlaces no covalentes. Son hidrosolubles y representan el 30 % de las proteínas de membrana.
- **Proteínas ancladas a lípidos:** Se localizan fuera de la bicapa lipídica, pero están unidas de forma covalente a los lípidos de membrana.

Fig. 3.3. Posiciones de las proteínas integrales y periféricas



Fuente: Robertis 2002

c) **Oligosacáridos.** Se asocian a lípidos (glucolípidos) o a proteínas (glucoproteínas). Forman los antígenos de los diferentes grupos sanguíneos.

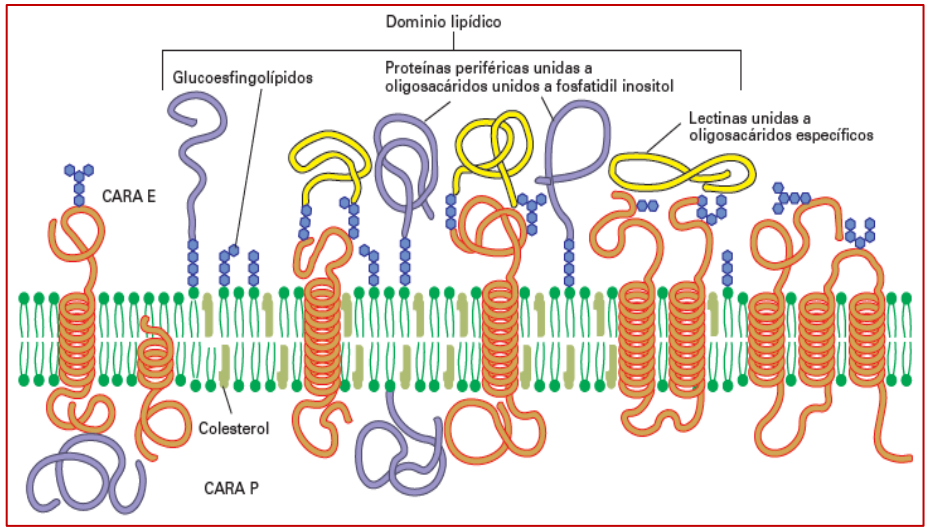
3.3.2.2 Estructura de la membrana plasmática

El modelo estructural de membrana más aceptado en la actualidad es el propuesto por Singer y Nicholson (1972), conocido como el modelo del mosaico fluido. Según éste, todas las membranas celulares responden a un esquema arquitectónico común constituido, básicamente, por una bicapa lipídica a la que se integran los otros componentes de las membranas, es decir: proteínas y glúcidos.

La disposición en bicapa de los lípidos se debe al carácter bipolar que poseen estos constituyentes de la membrana (fosfolípidos, colesterol, esfingolípidos, etc.), en un medio acuoso, estos lípidos se disponen enfrentando sus partes hidrófobas dejando sus cabezas hidrófilas en contacto con el medio acuoso intra y extracelular.

La ubicación de las proteínas (integrales o periféricas) en la membrana está determinada por su afinidad por el agua o los lípidos. Los azúcares (oligosacáridos), asociados a proteínas (glucoproteínas) o lípidos (glucolípidos), se encuentran en la cara extracelular de la membrana.

Fig. 3.4. Membrana plasmática: Modelo del Mosaico Fluido



Fuente: Paniagua et al. 2007

Según y lo expuesto en el modelo de mosaico fluido de membrana, se llegó a la conclusión que la membrana celular posee las siguientes propiedades:

- **Flexibilidad:** Es la capacidad que tiene la membrana de deformarse pasivamente ante el flujo de fuerzas externas o internas.

- **Fluidez:** Esta propiedad se debe al dinamismo con que se mueven las moléculas en la membrana, en especial los lípidos
- **Capacidad de autosellado:** la fluidez de la membrana hace posible que esta se reconstruya después de un pinchazo o que algunas vesículas se fusionen.
- **Asimetría:** se refiere a la desigualdad en la distribución de las moléculas en la bicapa.
- **Permeabilidad selectiva:** Es el proceso mediante el cual la célula intercambia ciertas sustancias con el medio extracelular, por medio de la membrana celular. Dicho intercambio se conoce como transporte a través de la membrana y puede ser pasivo o activo. Alarcón, L., Del Carpio, W., Sanz, A., (2019)

3.3.2.3 Transporte a través de la membrana plasmática

Las membranas son barreras de permeabilidad muy selectiva. Los mecanismos que las células emplean para permitir el paso de sustancias dependen de si se trata de moléculas pequeñas, que pueden atravesar la membrana, o de moléculas más grandes, que deben ser englobadas y luego liberadas por la propia membrana.

3.3.2.3.1 Transporte para moléculas pequeñas:

La permeabilidad de las membranas celulares es altamente selectiva. El paso de moléculas e iones está controlado por mecanismos de transporte específicos. Existen dos mecanismos básicos de transporte: el activo y el pasivo

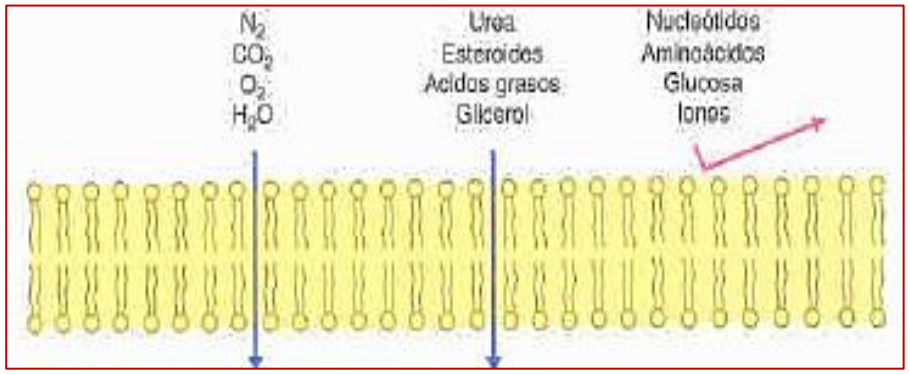
a) **Transporte pasivo:** se realiza sin consumo de energía y a favor de un gradiente, ya que la sustancia pasa debido a que hay una diferencia de concentración o de carga eléctrica (o de ambos, electroquímico).

Difusión:

- **Difusión simple:** Transporte a través de la bicapa lipídica, algunas moléculas se difunden libremente sin intervención de proteínas. Pasan así pequeñas moléculas apolares o lipófilas, como O_2, N_2, CO_2, y las moléculas polares, pero sin carga como el agua, etanol, urea.

  El agua atraviesa la membrana por ósmosis, desde el lado de menor concentración salina al de mayor.

Fig. 3.5. Difusión a través de la membrana celular

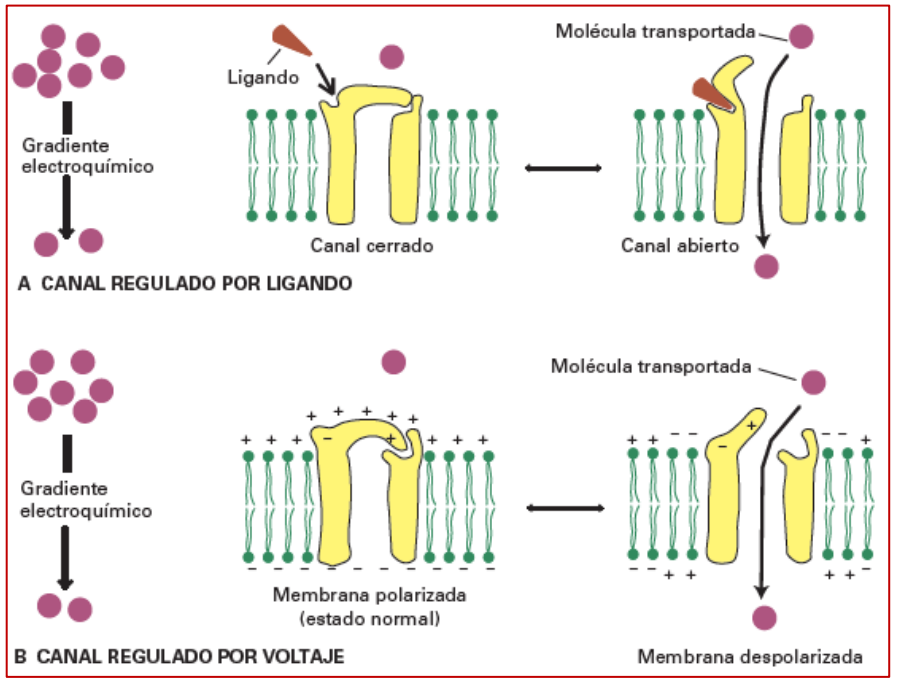


Fuente: Robertis 2008

- **Difusión facilitada**: Se lleva a cabo mediante proteínas transmembranales que transportan moléculas polares, grandes o pequeñas.

  Principalmente, las sustancias polares (como azúcares, aminoácidos y algunos iones libres) requieren proteínas transportadoras (permeasas) para atravesar la membrana. Estas proteínas se unen específicamente a la molécula a transportar y la liberan en el otro lado de la membrana.

Fig. 3.6. Difusión facilitada a través de la membrana



Fuente: Paniagua et al. 2007

Osmosis: La ósmosis es un tipo especial de difusión que implica el movimiento neto de agua (el principal *solvente* en los sistemas biológicos) a través de una membrana semipermeable de una región de mayor concentración a una región de menor concentración. Las moléculas de agua pasan libremente en ambas direcciones, pero como

en todos los tipos de difusión, el movimiento *neto* es de la región donde las moléculas de agua están más concentradas a la región de menor concentración. La mayoría de las *moléculas de soluto* (como azúcar y sal) no se pueden difundir libremente a través de las membranas semipermeables de la célula. (Solomon et al. 2013)

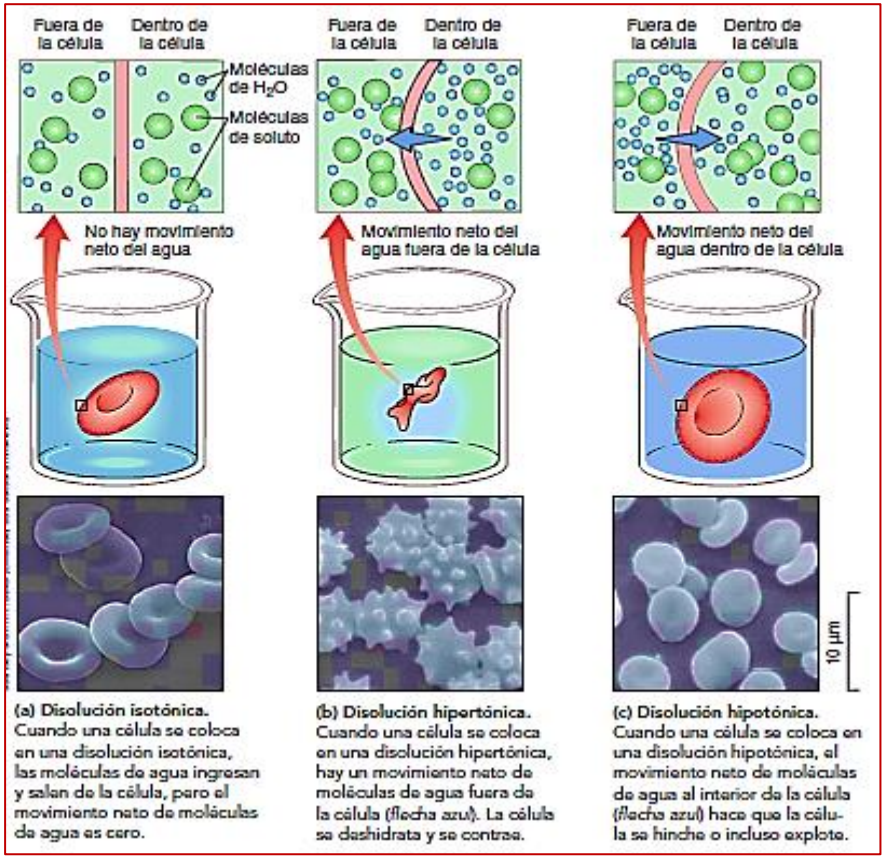
Si el fluido alrededor tiene una concentración de sustancias disueltas mayor a la concentración dentro de la célula, su presión osmótica será mayor que la de la célula y se dice que es **hipertónica** respecto a ella. Debido a que una disolución hipertónica tiene una concentración efectiva de agua más baja, una célula colocada en esta disolución se contrae conforme pierde agua por osmosis. Los eritrocitos colocados en una disolución de cloruro de sodio al 1.3% se arrugan. Si el fluido que rodea contiene una menor concentración de materiales disueltos que el de la célula, el fluido tiene una presión osmótica más baja y se dice que es **hipotónica** a la célula; el agua entonces entra en la célula y hace que se hinche. Los eritrocitos colocados en una disolución de 0.6% de cloruro de sodio ganan agua, se hinchan y por último pueden explotar. Muchas células que normalmente

viven en ambientes hipotónicos tienen adaptaciones para evitar la acumulación excesiva de agua. Por ejemplo, el *Paramecium* y ciertos ciliados tienen vacuolas contráctiles que expulsan el exceso de agua.

En las células vegetales el agua se mueve en las células por osmosis, llenando sus vacuolas centrales y distendiendo las células. Las células se hinchan, construyendo la presión de turgencia contra las paredes celulares rígidas. La presión de turgencia en las células es un factor importante en el apoyo del cuerpo de las plantas no leñosas. Por el contrario, si una célula que tiene una pared celular se coloca en un medio hipertónico, la célula pierde agua a sus alrededores. Sus contenidos se reducen, y la membrana plasmática se separa de la pared celular, proceso conocido como plasmólisis. La plasmólisis se produce en las plantas cuando el suelo o el agua alrededor de ellos contienen altas concentraciones de sales o fertilizantes. También explica por qué la lechuga pierde turgencia en un aderezo de ensalada salada y por

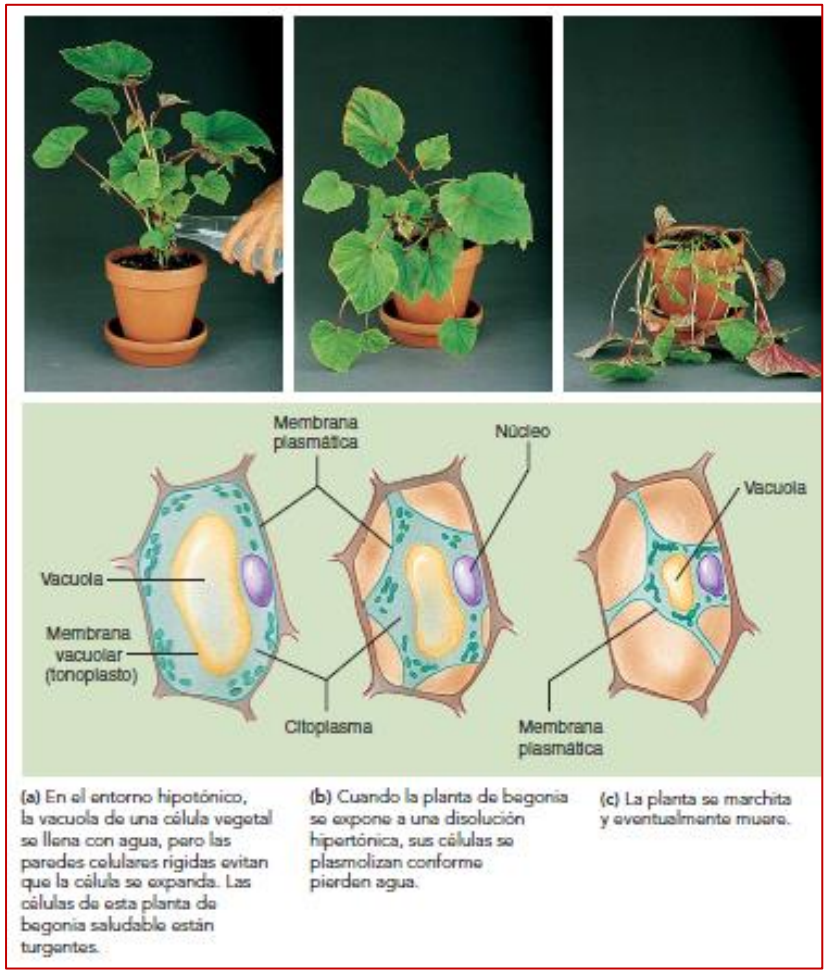
qué una flor que se corta se marchita por falta de agua. (Solomon et al. 2013)

Fig. 3.7. Respuesta de las células animales a diferentes presiones osmóticas: crenación y citólisis


Fuera de la célula
Dentro de la célula
Moléculas de H_2O
Moléculas de soluto
No hay movimiento neto del agua
Movimiento neto del agua fuera de la célula
Movimiento neto del agua dentro de la célula
10 µm
(a) Disolución isotónica. Cuando una célula se coloca en una disolución isotónica, las moléculas de agua ingresan y salen de la célula, pero el movimiento neto de moléculas de agua es cero.
(b) Disolución hipertónica. Cuando una célula se coloca en una disolución hipertónica, hay un movimiento neto de moléculas de agua fuera de la célula (flecha azul). La célula se deshidrata y se contrae.
(c) Disolución hipotónica. Cuando una célula se coloca en una disolución hipotónica, el movimiento neto de moléculas de agua al interior de la célula (flecha azul) hace que la célula se hinche o incluso explote.

Fuente: Solomon et al. 2013

Fig. 3.8. Diferencias de presión osmótica en las células vegetales: Plasmólisis y turgencia

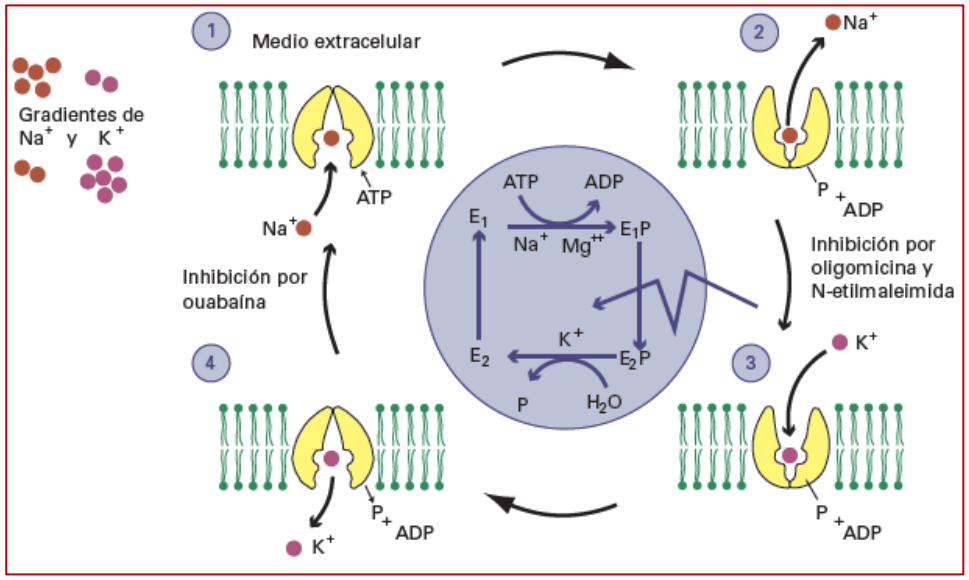

Membrana plasmática
Núcleo
Vacuola
Vacuola
Membrana vacuolar (tonoplasto)
Citoplasma
Membrana plasmática
(a) En el entorno hipotónico, la vacuola de una célula vegetal se llena con agua, pero las paredes celulares rígidas evitan que la célula se expanda. Las células de esta planta de begonia saludable están turgentes.
(b) Cuando la planta de begonia se expone a una disolución hipertónica, sus células se plasmolizan conforme pierden agua.
(c) La planta se marchita y eventualmente muere.

Fuente: Solomon et al. 2013

b) **Transporte activo:** Se realiza en contra de un gradiente (de la zona más diluida a la más concentrada) y requiere proteínas transportadoras específicas y un aporte de energía, que se traduce en el consumo de ATP, para llevar a cabo el 'bombeo'.

Un ejemplo es la bomba de sodio-potasio, que mantiene el potencial electroquímico a ambos lados de la membrana de las células animales (bombea Na^+ hacia el exterior de la célula y K^+ hacia el interior).

Fig. 3.9. Transporte activo de sustancias



Fuente: Paniagua et al. 2007

3.3.2.3.2 Transporte para macromoléculas:

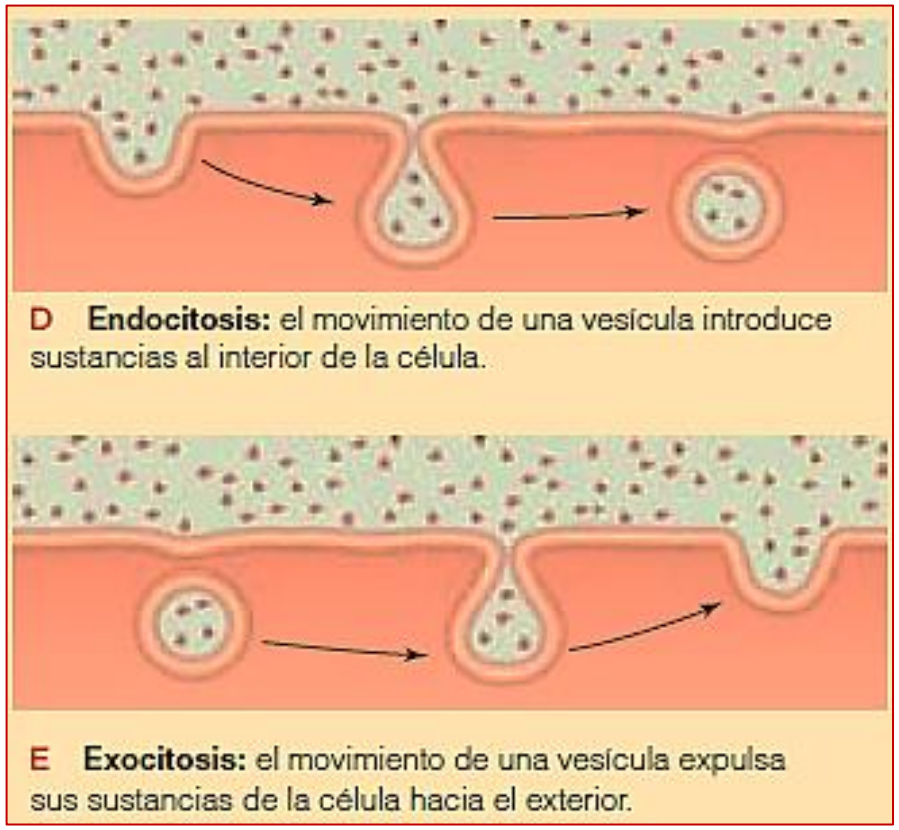
La célula dispone de mecanismos que permiten incorporar o expulsar compuestos de mayor tamaño, por medio de deformaciones de la membrana (Fig. 3.5).

a) **Endocitosis:** Incorpora partículas mediante una invaginación de la membrana en la que quedan incluidas. Luego, la invaginación se estrangula y forma una vesícula en el interior. Se distinguen dos tipos:

- **Pinocitosis:** Cuando el material captado es líquido (partículas disueltas).
- **Fagocitosis:** Capta partículas sólidas de mayor tamaño, y se forman vacuolas digestivas. Sólo la realizan células especializadas (Por ejemplo, leucocitos).

b) **Exocitosis:** Proceso opuesto al anterior. Las sustancias contenidas en una vesícula se expulsan cuando esta se fusiona con la membrana plasmática y se abre al exterior.

Fig. 3.9. Transporte por endocitosis y exocitosis


D Endocitosis: el movimiento de una vesícula introduce sustancias al interior de la célula.
E Exocitosis: el movimiento de una vesícula expulsa sus sustancias de la célula hacia el exterior.

Fuente: Stark et al. 2009

3.3.2.4 Funciones de la membrana plasmática

- Frontera física entre dos medios: Esto permite no sólo la separación del interior de la célula con respecto al medio exterior (intra y extracelular), sino también la formación de compartimentos en el interior de la célula eucariota.
- Facilita las reacciones químicas, de manera simultánea, pero sin mezclarse en sus diferentes orgánulos.
- La bicapa lipídica es una eficaz barrera para evitar el paso de sustancias hidrófilas (se evita la pérdida de sustancias intracelulares).
- Asegura el intercambio y transferencia de sustancias e información con el exterior y con otras células. La naturaleza lipídica de la membrana define qué sustancias pueden atravesarla, y las proteínas presentes en ella pueden intervenir activamente para facilitar o bloquear el transporte de esas sustancias.
- Factores de reconocimiento celular: Conforman la “identidad antigénica” de cada individuo debido a que las proteínas específicas de la membrana celular constituyen una combinación única en cada individuo, que permite ser reconocida por las defensas inmunitarias.
- Receptores hormonales y de otras informaciones: Control del flujo de información entre las células y el medio, reciben la

información que llega del medio, gracias a la existencia de: a) receptores específicos de neurotransmisores y de hormonas, y b) el potencial de membrana responsable de la sensibilidad celular.

- Desempeñar funciones especiales gracias a las diferenciaciones que presentan algunas: invaginaciones (aumento de la superficie de intercambio), desmosomas (zonas de unión con otras células), etc.

3.3.3 CITOPLASMA

Es el protoplasma comprendido entre la membrana celular y la membrana nuclear, es la región fundamental de la célula donde se llevan a cabo las principales reacciones bioquímicas de los seres vivos, tiene aspecto hialino y translúcido.

Presenta la siguiente organización:

a) Matriz citoplasmática, citosol o hialoplasma

b) Sistema de endomembranas

c) Organelos con membrana

d) Organelos sin membrana

3.3.3.1 Matriz citoplasmática (Citosol o Hialoplasma):

Es el jugo interno amorfo del citoplasma, que está constituido por el coloide citoplasmático y el citoesqueleto.

a) Coloide citoplasmático: Líquido acuoso viscoso que contiene moléculas pequeñas (como las sales) en disolución acuosa y moléculas grandes (como las proteínas) dispersas en el líquido.

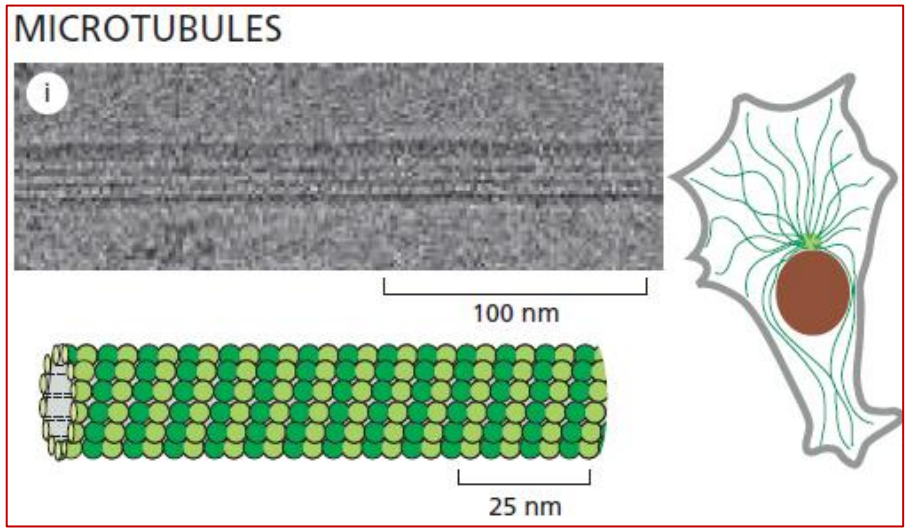
b) Citoesqueleto: Las proteínas son el componente más abundante de la matriz y constituyen el citoesqueleto o sostén interno de la célula, el cual está constituido por distintos tipos de proteínas las cuales son:

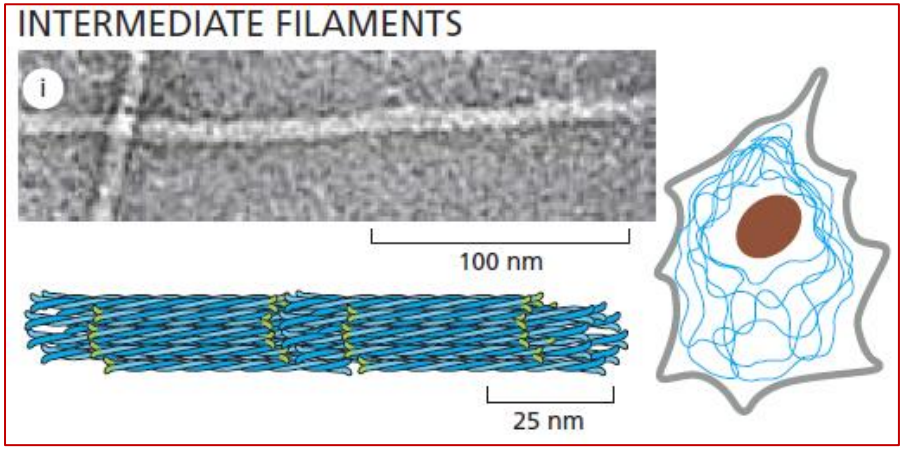
- **Microfilamentos:** Están constituidos por la proteína actina, se encuentra en todas las células eucariotas. Normalmente en asociación con una segunda proteína, la miosina. Participan directamente en los movimientos celulares. Son los constituyentes dinámicos más importantes del citoesqueleto que permiten a las células moverse y cambiar de forma.
- **Filamentos intermedios:** Tienen un diámetro intermedio entre los microfilamentos y los microtúbulos.

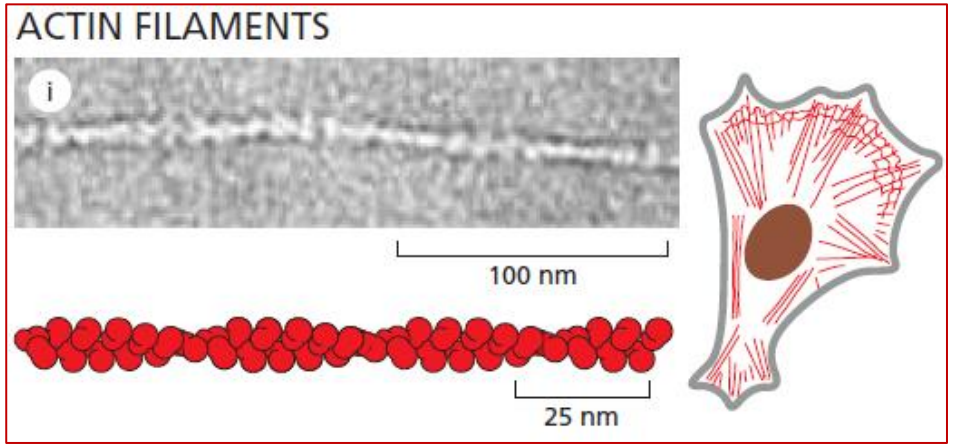
En diferentes tipos de células, los filamentos intermedios están compuestos por diferentes proteínas: vimentina, desmina, queratina, periferina, gliofilamentos, neurofilamentos y láminas. Tienen una función estructural y permiten que las células soporten las tensiones mecánicas producidas al estirarse. Se encuentran en abundancia en células musculares, epiteliales y en los axones de las neuronas.

- **Microtúbulos:** Están hechos de subunidades de la proteína tubulina y se han encontrado en todos los tipos de células eucariontes. Forman un andamiaje que mantiene los organelos en su lugar y estabiliza la forma de las células. También son componentes esenciales en la estructura de los cilios y flagelos.

Fig. 3.10. Componentes del citoesqueleto







Fuente: Alberts et al. 2022

3.3.3.2 Sistema de endomembranas:

Está constituido por el Retículo endoplasmático y el Aparato de Golgi.

a) Retículo endoplasmático: Complejo membranoso conformado por canales ramificados, que se comunican entre sí y con la membrana celular. Se pueden distinguir dos tipos de retículo:

- **Retículo endoplasmático rugoso (R.E.R.):** Está compuesto por 70% de proteínas y 30% de lípidos. Presenta riboforinas en su membrana que permiten la adhesión de ribosomas por la subunidad mayor; por lo que presentan un aspecto granulado. En él se realiza la síntesis proteica. Las proteínas sintetizadas por los ribosomas se trasladan al lumen del retículo endoplásmico, donde maduran antes de ser enviadas a su destino final. Abunda en células que sintetizan proteínas de secreción (células del páncreas, glándula tiroidea, hepática, sebácea, etc.).

Funciones:

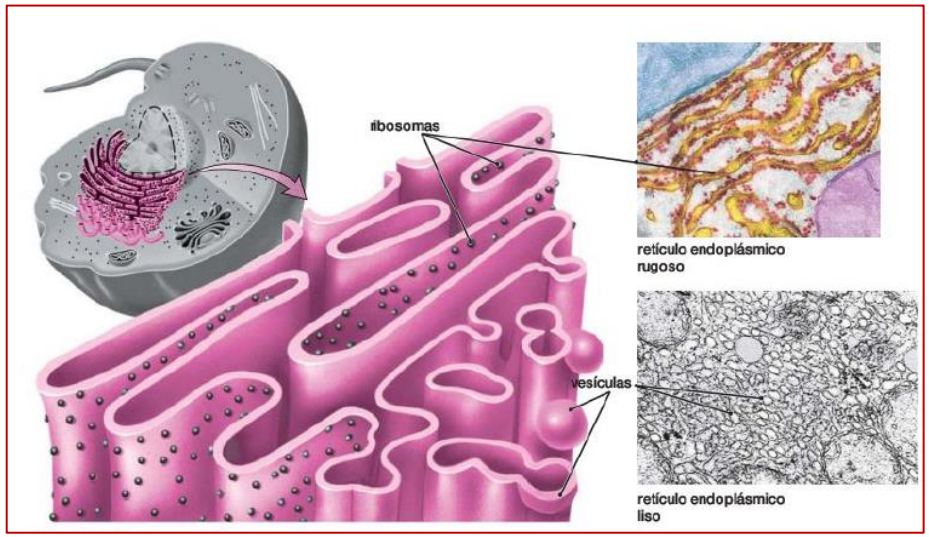
- Sintetizan proteínas de "exportación" (secreción celular) como hormonas y enzimas.
- Origina organelos: Aparato de Golgi, retículo endoplasmático y peroxisomas.
- Permite la reaparición de la envoltura nuclear, en la división celular (telofase).
-

- **Retículo endoplasmático liso (R.E.L.):** Carece de ribosomas, está en conexión con el R.E.R.

Funciones:

- Biosíntesis de lípidos (fosfolípidos, colesterol y esteroides).
- Detoxificación celular (fármacos, plaguicidas y herbicidas).
- Formación del aparato de Golgi.
- Interviene en la renovación de la membrana plasmática.
- Lleva a cabo la glucogénesis y glucogenólisis.
- En las fibras musculares forma al retículo sarcoplasmático donde se almacena calcio, indispensable para la contracción muscular.

Fig. 3.11. Retículo endoplasmático



Fuente. Audesirk y Byres 2008

b) Aparato de Golgi: Se encuentra más desarrollado cuanto mayor es la actividad celular (secreción). La unidad básica del organelo es el sáculo, que consiste en una vesícula o cisterna aplanada. Cuando una serie de sáculos se apilan forman un dictiosoma. Además, pueden observarse toda una serie de vesículas más o menos esféricas a ambos lados y entre los sáculos. El conjunto de todos los dictiosomas y vesículas constituye el aparato de Golgi.

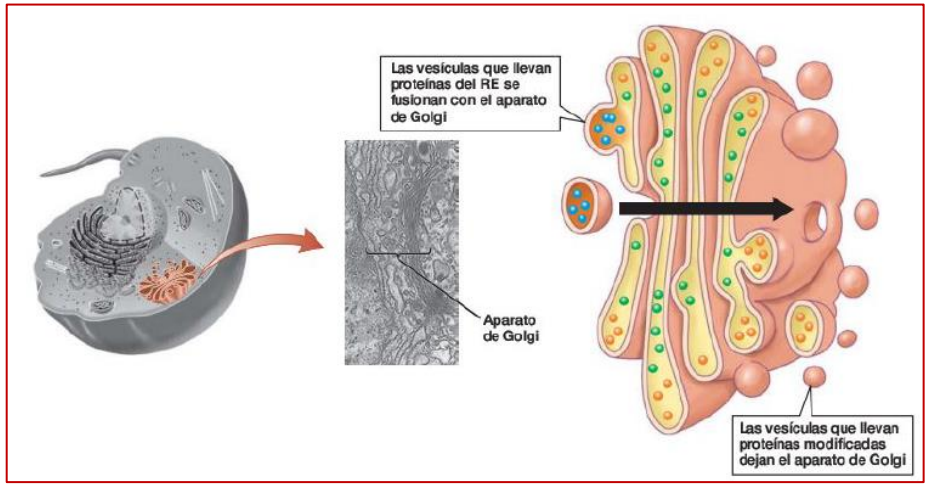
El dictiosoma está estrechamente asociado con el retículo endoplásmico, lo que permite distinguir dos caras: la cara cis, que está más cerca del retículo, y la cara trans, que está más alejada.

El dictiosoma está estrechamente asociado con el retículo endoplásmico, lo que permite distinguir dos caras: la cara cis, que está más cerca del retículo, y la cara trans, que está más alejada. En la cara cis se encuentran las vesículas de transición; mientras que, en la cara trans, se localizan las vesículas de secreción.

Funciones:

- Formación parcial de la pared celular durante la división celular.
- Formación del acrosoma en los espermatozoides.
- Glicosilación (empaquetamiento de proteínas).
- Reciclaje de membranas en células secretoras.
- Renovación de la membrana plasmática.
- Secreción celular (proteoglicanos y glucoproteínas).
- Síntesis de enzimas lisosomales.

Fig. 3.12. Aparato de Golgi


Las vesículas que llevan proteínas del RE se fusionan con el aparato de Golgi
Aparato de Golgi
Las vesículas que llevan proteínas modificadas dejan el aparato de Golgi

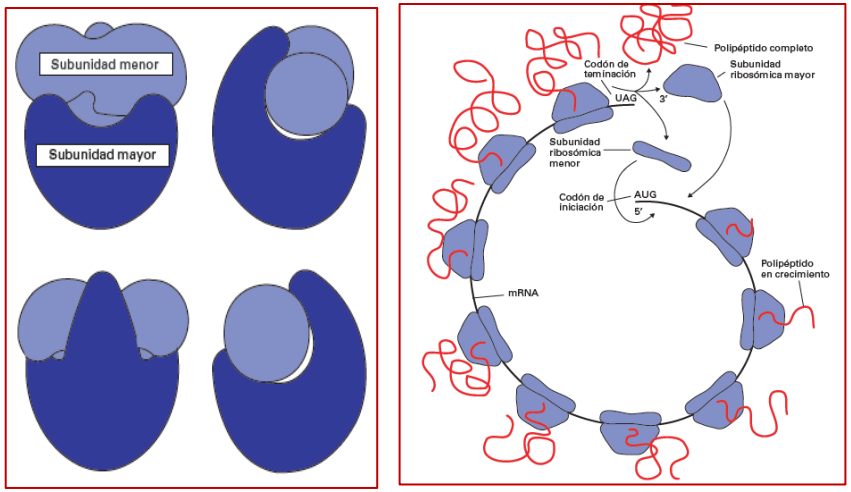
Fuente. Audesirk y Byres 2008

3.3.3.3 Organelos sin membrana

a) **Ribosomas:** Son estructuras esféricas y elípticas formados por ARNr, originado en el nucléolo y formando proteínas en el citoplasma. Se distribuyen libremente por el citosol; se encuentran unidas en racimos formando polisomas gracias a un helicoide de ARNm o se encuentran unidas como polisomas a las riboforinas del RER. Los ribosomas están presentes en todas las células, excepto en espermatozoides.

El ARN ribosómico se produce en el nucléolo, mientras que las proteínas ribosómicas se sintetizan en el citosol. Estas proteínas son luego transportadas al núcleo, donde se ensamblan con el ARN ribosómico para formar las subunidades ribosómicas. Ribosomas en células eucariontes 80S (60S y 40S) y ribosomas en células procariontes 70S (50S y 30S).

Fig. 3.13. Ribosoma



Fuente: Paniagua et al. 2008

Además, las mitocondrias y cloroplastos presentan sus propios ribosomas (mitorribosomas y plastorribosomas, respectivamente), con una sedimentación de 55S. Las subunidades ribosómicas se mantienen unidas por sus cargas eléctricas, cuando disminuye la concentración de Mg^{2+} estas se separan y no son funcionales.

Función: Síntesis de proteínas según la información del ARNm y los aminoácidos transportados por el ARNt.

b) **Centrosoma:** Estructuras constituidas por dos centriolos (diplosomas) rodeadas por la centrósfera (coloide denso) y alrededor tenemos al áster (microtúbulos libres). Propia de animales y protozoos. Están localizadas cerca al núcleo.

Los centriolos son estructuras microtubulares formados por nueve tripletes de microtúbulos dispuestos periféricamente (9^3 + 0), estos tripletes se encuentran unidos por la proteína nexina. Cada microtúbulo a su vez está constituido por la proteína tubulina.

Funciones:

- Forma el huso mitótico durante la división celular (telofase).
- Intervienen como cuerpos basales para la formación de cilios y flagelos.

- Es el centro de organización para el citoesqueleto.

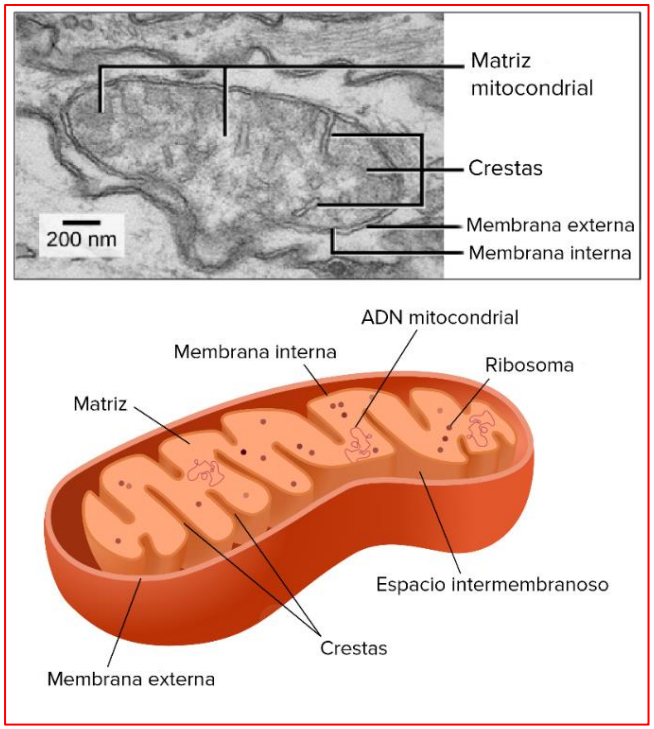
3.3.3.4 Organelos con dos membranas

a) **Mitocondrias:** Son organelos esféricos o alargados, constituidos principalmente por proteínas y en segundo lugar por lípidos, presenta su propio ADN (ADN mitocondrial cíclico) y ARN. Están presentes en células animales y vegetales (excepto en bacterias y hematíes).

Su número varía según las necesidades energéticas de las células (2500 en hepatocitos y 1000 en fibras musculares), mientras que los glóbulos rojos no tienen mitocondrias. Están formadas por dos membranas: La membrana externa lisa y la membrana interna que emiten prolongaciones hacia el interior de la mitocondria, llamadas crestas mitocondriales donde se localiza los componentes de la cadena respiratoria.

El interior de la mitocondria presenta una cavidad central llamada matriz mitocondrial; ocupada por un líquido rico en proteínas y enzimas del ciclo de Krebs, ribosomas y ADN circular. En las crestas mitocondriales junto a la cadena respiratoria encontramos a las Partículas F o Partículas elementales donde se encuentra la enzima ATP-sintasa, relacionadas con los procesos de fosforilación oxidativa (síntesis de ATP).

Fig. 3.14. Mitocondria



Nota: La Fig. representa la estructura de la mitocondria. Tomado de Khan Academy. https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/a23d045e4e75f33bdc7fb4e18ebc9048d79f693e.png

Funciones:

- Síntesis de ATP, gracias a las moléculas provenientes de la respiración celular aeróbica, proceso de 4 pasos: glucolisis (citosol), oxidación del piruvato (citosol), ciclo de Krebs y fosforilación oxidativa, que se realizan en la mitocondria.
- Regula la temperatura, debido a que pueden generar calor.
- Control del ciclo celular (apoptosis).
- Regula la concentración de Ca^{+2} en el citosol.
- Autoduplicación.

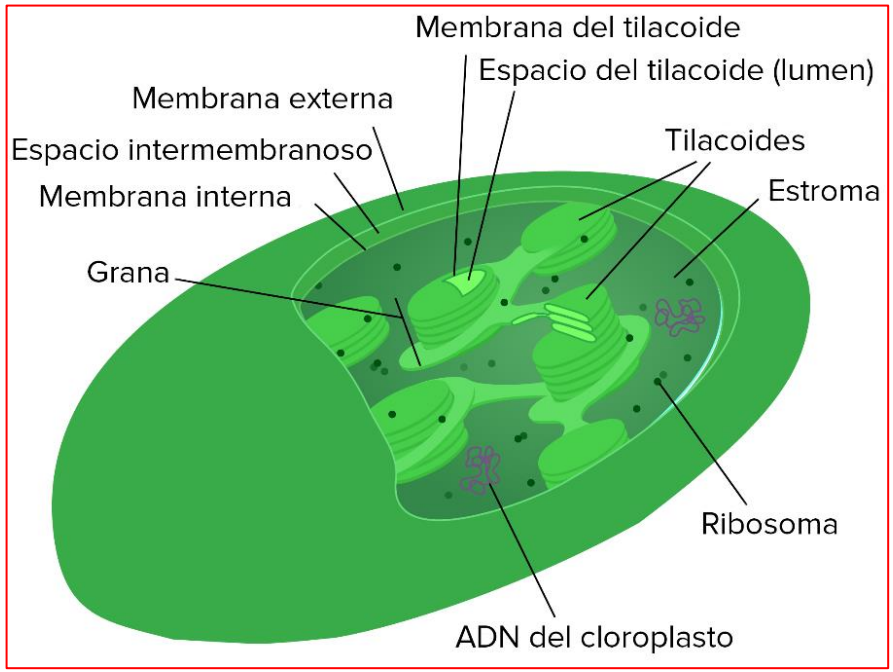
b) **Plastos:** Son organelos vegetales donde se almacenan diferentes pigmentos fotosintéticos y pigmentos accesorios, además de otras sustancias, existen diferentes tipos como:

- **Cromoplastos:** Están constituidos por proteínas, ARN, lípidos y pigmentos carotenoides como la Xantofila (Amarrillo), Caroteno (Anaranjado); Licopeno (Rojo). Se forman a partir de los cloroplastos.
- **Cloroplastos:** Plastidios que contienen principalmente clorofila, carotenoides y xantofilas; estructuralmente presentan dos membranas envolventes: la membrana externa que es más permeable y la membrana interna la cual se organiza en sáculos membranosos aplanados que reciben el nombre de tilacoides, los cuales se disponen en pilas muy ordenadas llamadas grana. En el interior de los tilacoides encontramos a los pigmentos fotosintéticos como clorofila, carotenos y metaloproteínas como la plastoquinona y plastocianina que se agrupan en dos fotosistemas (PSI Y PSII).
- **Leucoplastos:** Carecen de pigmentos y se especializan en almacenar sustancias de reserva como el almidón, aceites y proteínas. Predominan en las células de la raíz y tallo.

Funciones:

- Absorber y trasformar la energía lumínica en energía química para obtener alimento; proceso denominado fotosíntesis, mediante dos fases generales: la fotoquímica llevada a cabo en los tilacoides y la fase biosintética o ciclo de Calvin, que se da en el estroma.
- Autoduplicación debido a que tiene su propio ADN.

Fig. 3.15. Cloroplasto



Nota: La Fig. representa la estructura del cloroplasto. Tomado de Khan Academy. https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/2f06b2fecd8f38d67bcc3ad088ab477905c22700.png

3.3.3.5 Citosomas

Son organelos con una membrana simple. Comprende:

a) **Lisosomas:** Son vesículas rodeadas por una membrana que contienen enzimas hidrolíticas, tales como fosfatasas, lipasas, proteasas, ribonucleasas y desoxiribonucleasas, entre otras.

Los lisosomas primarios son originados por el Golgisoma y contienen zimógenos o enzimas inactivas mientras que los lisosomas secundarios resultan de la unión del lisosoma primario y la vacuola fagocítica o pinocítica.

Se encargan de la digestión celular o intracelular, por lo que también se les conoce como vacuolas digestivas. Además, los lisosomas realizan autofagia durante el ayuno celular y autolisis en la vejez celular.

b) **Peroxisomas:** Son vesículas membranosas presentes en todas las células animales (excepto eritrocitos), contienen enzimas como la peroxidasa y catalasa.

$$RH_2 + O_2 \ peroxidasa \rightarrow R + H_2O_2$$

$$RH_2 + H_2O_2 \ catalasa \rightarrow \ R + 2H_2O$$

El agua oxigenada producida se usa para oxidar compuestos tóxicos como el fenol, el ácido fórmico, el formaldehido y el etanol. También interviene en la fotorrespiración y la

producción de Acetil CoA mediante la β - oxidación de grasas. (Lodish et al., 2023).

c) **Glioxiosomas:** Son vesículas membranosas exclusivas de las células vegetales que contienen las enzimas de la vía del glioxilato. Se encarga de transformar los aceites en azúcares sobre todo durante la germinación de la semilla a través del ciclo del glioxilato.

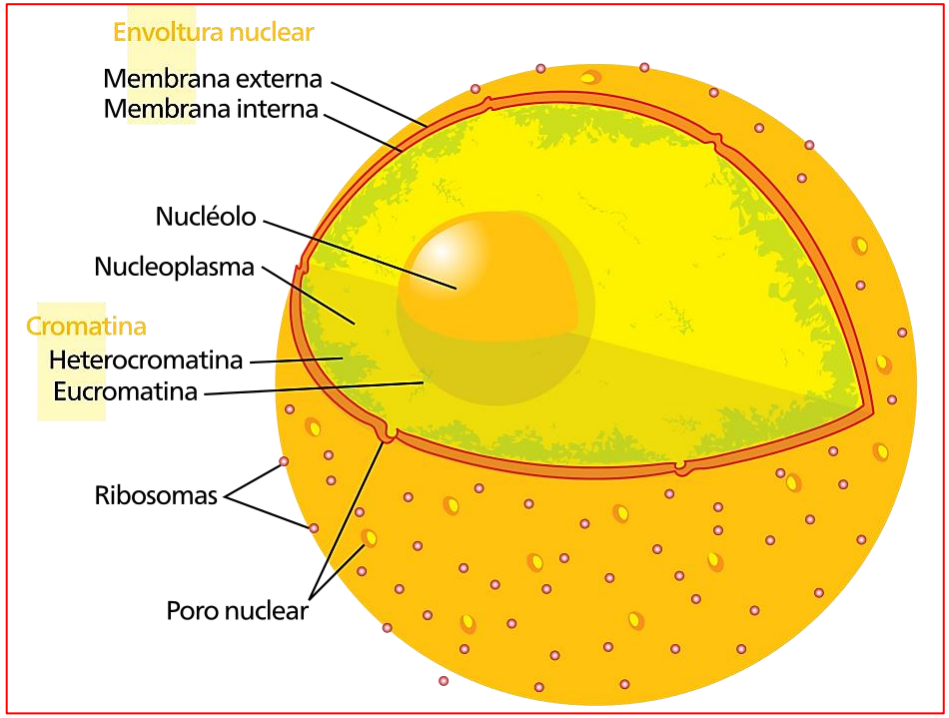
3.3.4 NÚCLEO

Es la estructura clave que controla y dirige todas las actividades de la célula, y se distingue por contener el material genético de las células eucariotas. Algunas células carecen de núcleo (hematíe maduro, células del cristalino), otras tienen más de un núcleo (protozoos, fibra muscular esquelética).

Estructura:

a) **envoltura nuclear (carioteca):** Es una doble unidad de membrana que envuelve el contenido del núcleo, la membrana externa lleva adheridos ribosomas y está en contacto con el retículo endoplasmático. La membrana interna es lisa y en su superficie interna lleva adherida la proteína lámina (fracciona la membrana nuclear en la profase) la cual brinda soporte estructural al núcleo (Cooper y Hausman, 2022). La carioteca está atravesada por un gran número de poros, que permiten el paso de sustancias.

Fig. 3.16. Núcleo celular



Nota: La Fig. representa la estructura del núcleo celular. Tomado de Wikipedia.https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Diagram_human_cell_nucleus_es.svg/1024pxDiagram_human_cell_nucleus_es.svg.png

b) **Jugo nuclear (cariolinfa, carioplasma o nucleoplasma):** Es el medio interno del núcleo que se encuentra en solución coloidal (gel) compuesto por: mayormente cromatina, histonas, protaminas (en células sexuales), aminoácidos, enzimas, nucleótidos, sales minerales y ATP. Es el medio donde se realiza la síntesis de ácidos nucleicos y diversas reacciones químicas (Fig. 3.13).

c) **Nucléolo:** Es un corpúsculo esférico constituido por fibras de ADN y gránulos de ARN; también contiene enzimas, histonas, zinc y calcio. Aquí se lleva a cabo la síntesis de ARN a partir de ADN asociado al núcleo y síntesis de las subunidades ribosómicas. El nucléolo se desintegra en la profase de la división celular.

d) **Cromatina:** La cromatina está formada por ADN e histonas y se le aprecia en la interfase celular. A partir de la cromatina se forma los cromosomas.

Funciones del núcleo: Son varias, todas relacionadas con la conservación de la vida celular:

- Síntesis de proteínas (pequeñas cantidades), induce a la formación de ARNm para iniciar la síntesis de proteínas en el citoplasma.
- Hereditaria, almacena y transmite los caracteres hereditarios mediante ADN.
- Regula las funciones celulares como el ciclo celular.

3.4 CICLO CELULAR

Es el período de vida de una célula desde su formación hasta su división en células hijas. La duración y los requisitos de este período varían según el tipo celular. Algunas células, como las nerviosas, las del músculo esquelético y los glóbulos rojos, generalmente no se dividen una vez que han madurado. El ciclo celular está regulado por una gran maquinaria molecular de extraordinaria precisión, entre estas moléculas se destacan un grupo de genes, las ciclinas y las cinasas dependientes de ciclinas (Cdk).

3.4.1 FASES DEL CICLO CELULAR

3.4.1.1 Interfase

En esta fase la célula aumenta de tamaño, duplica sus estructuras y acumula reservas necesarias para la división (Fig. 3.14). Comprende 3 periodos:

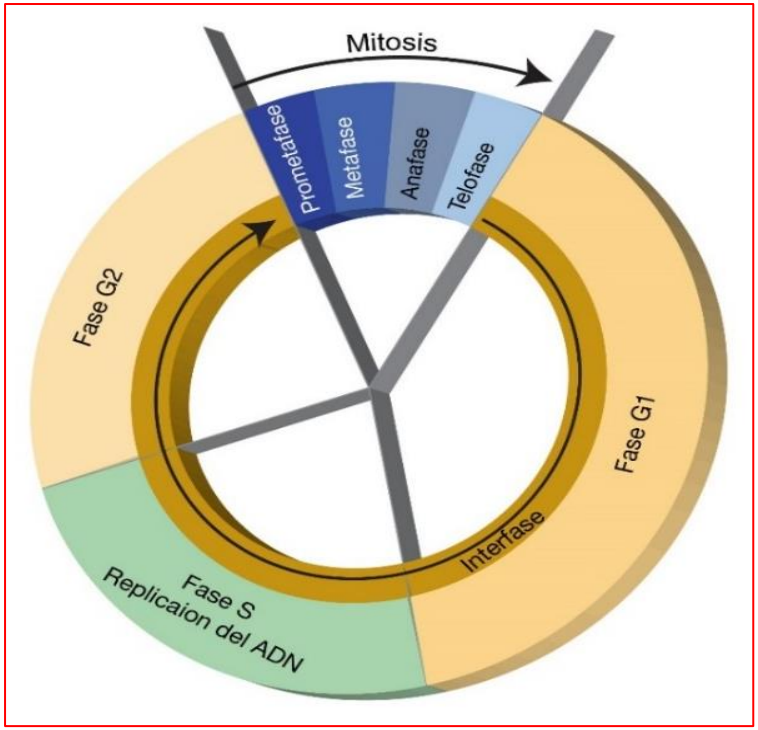
a) **Periodo G1:** Llamado primera fase de crecimiento, se inicia con una célula hija que proviene de la división de la célula madre. La célula aumenta de tamaño, se sintetiza nuevo material citoplasmático; sobre todo proteínas (histonas) y ARN. Dura entre 6 y 12 horas.

b) **Periodo S o de síntesis:** Se duplica el material genético (ADN). En este periodo el núcleo contiene el doble de proteínas nucleares y ADN que al principio. Dura entre 10 y 12 horas.

c) **Periodo G2:** Llamado segunda fase de crecimiento, en el cual se sigue sintetizando ARN y proteínas; la célula se prepara para la división. La finalización del periodo G2 es marcado por el comienzo de la mitosis. Tiene una duración entre 3 a 4 horas, y se nota un cambio en la estructura de la célula.

Paralela a la fase G1 existe una fase llamada G0, en la cual se encuentran células adultas que abandonan temporalmente el ciclo celular y pierden la capacidad reproductiva; sin embargo, mantienen una constante actividad metabólica. El tipo de células que permanecen en esta fase es muy reducido, como algunas neuronas y ciertas células musculares. (De Erize y Gonzales, 2018).

Fig. 3.17. Ciclo celular



Nota: La Fig. representa el diagrama del celular. Tomado de Genome. https://www.genome.gov/sites/default/files/tg/es/illustration/Ciclo_celular.jpg

3.4.1.2 Mitosis

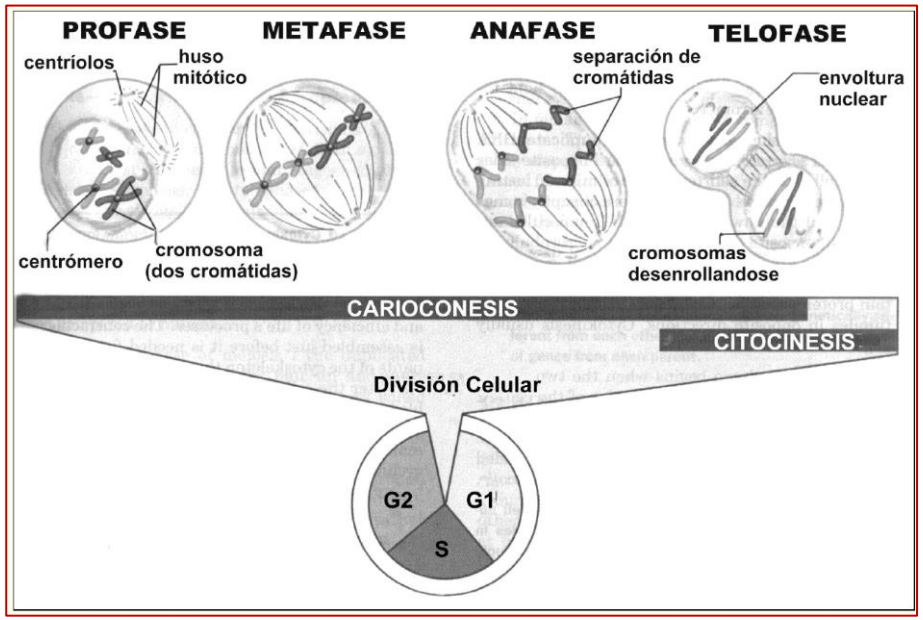
La mitosis es un verdadero proceso de multiplicación celular que participa en el desarrollo, el crecimiento y la regeneración del organismo.

Comprende una serie de eventos sucesivos que se desarrollan de manera continua y que para facilitar su estudio han sido separadas en dos etapas: la cariocinesis y la citocinesis.

a) **Cariocinesis:** Es la división del núcleo, presenta cuatro fases:

- **Profase:** Los cromosomas se vuelven visibles al microscopio. Cada cromosoma está constituido por 2 cromátidas que se mantienen unidas por el centrómero, desaparece el nucléolo y la envoltura nuclear se desintegra y empieza a formarse el huso mitótico. Al final de la profase ha desaparecido completamente la envoltura nuclear y el nucléolo.
- **Metafase:** Los cromosomas duplicados constituidos por un par de cromátidas hermanas se alinean en el plano ecuatorial constituyendo la placa ecuatorial de la célula, el huso mitótico se completa.
- **Anafase:** En ella el centrómero se divide y cada cromosoma se separa en sus dos cromátidas. Los centrómeros emigran a lo largo de las fibras del huso en direcciones opuestas, arrastrando cada una en su desplazamiento a una cromátida. Cada cromátida se considera ahora un cromosoma. La anafase constituye la fase crucial de la mitosis, porque en ella se realiza la distribución de las dos copias de la información genética original.
- **Telofase:** Los dos grupos de cromátidas comienzan a descondensarse, se reconstruye la envoltura nuclear, alrededor de cada conjunto cromosómico, lo cual definirá los nuevos núcleos hijos. A continuación, tiene lugar la citocinesis.

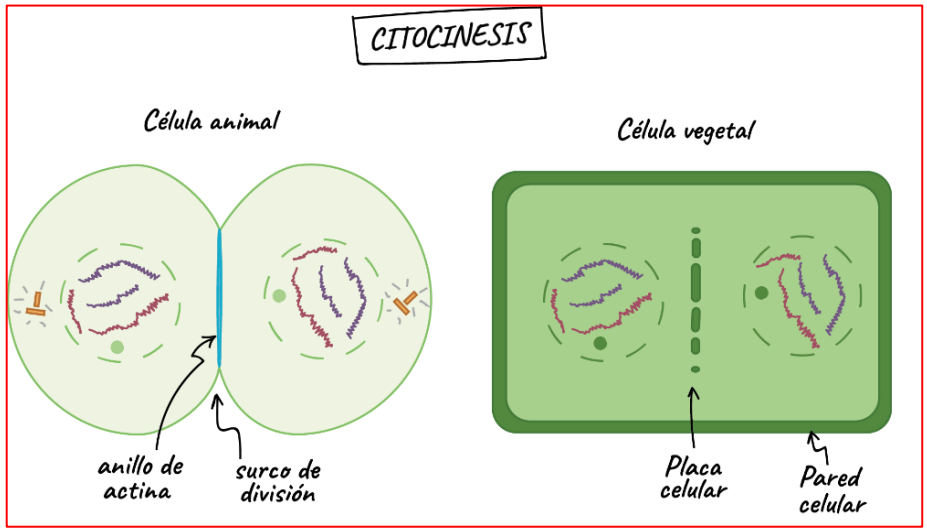
Fig. 3.18. Cariocinesis



Nota: La Fig. representa la cariocinesis. Tomado de Filadd. https://static.filadd.com/files/f%2386650/html/external_resources/bg3.png

b) **Citocinesis:** La citocinesis es la división del citoplasma para generar dos células hijas, por lo general comienza durante la telofase. La citocinesis en las células animales comienza por un surco que la rodea en la región ecuatorial. El surco formado por un anillo de microfilamentos se profundiza en forma gradual y termina por separar el citoplasma en dos células hijas, cada una con un núcleo completo.

Fig. 3.19. Citocinesis



Nota: La Fig. representa la citocinesis animal y vegetal. Tomado de Khan Academy. https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/f3b10b4dd58329db723d97d6c39b6e74d11b611a.png

En las células vegetales, la existencia de una pared celular rígida impide cualquier deformación de la célula por lo que no se puede formar un surco de segmentación análogo al que aparece en las células animales. En su lugar, numerosas vesículas secretoras del aparato de Golgi se alinean en el plano ecuatorial de la célula y se fusionan entre sí, formando un tabique membranoso alargado conocido como fragmoplasto.

Este tabique crece mediante la adición de nuevas vesículas secretoras hasta que entra en contacto con la membrana plasmática, fusionándose con ella para formar un tabique continuo que divide por completo las dos células hijas. El contenido de las vesículas secretoras, depositado ahora en el espacio intercelular, constituye la primera capa (lámina media) de la nueva pared celular.

Los principales puntos de control del ciclo celular en células eucariotas son:

- Punto de control en la transición G1/S: Se evalúa si la célula ha alcanzado un tamaño adecuado, si hay suficientes nutrientes y si el ADN está intacto antes de pasar de la fase G1 a la fase S, donde ocurre la replicación del ADN.
- Punto de control en la transición G2/M: Se verifica si la replicación del ADN se ha completado correctamente y si no hay daño en el ADN antes de que la célula ingrese a la fase de mitosis (M).
- Punto de control en la metafase-anafase: Se asegura de que todos los cromosomas estén correctamente alineados en el huso mitótico antes de que la célula avance de la metafase al anafase, evitando así errores en la segregación de los cromosomas.

Estos puntos de control son regulados por proteínas específicas, como las cinasas dependientes de ciclina (CDKs) y las proteínas supresoras de tumores (P53), que coordinan las señales internas y externas para determinar si la célula puede avanzar en el ciclo celular o si debe detenerse para reparar daños o realizar otras funciones necesarias. (Iwasa y Wallace, 2019)

Significado biológico de la mitosis:

- A nivel genético representa un sistema de reparto equitativo e idéntico de la información genética. Ambas células hijas tendrán la misma información que es, la misma que poseía la célula madre.
- A nivel celular la mitosis permite la perpetuación de una estirpe celular y la formación de colonias de células (clones celulares).
- A nivel orgánico la mitosis permite el crecimiento y desarrollo de los tejidos y de los órganos de los seres pluricelulares, así como la reparación y regeneración de los mismos. De esta manera todas las células de un organismo pluricelular, a

excepción de las células sexuales, disponen de idéntica información genética.

3.5 MEIOSIS

La meiosis es la división celular por la cual se obtiene células hijas con la mitad de los juegos cromosómicos que tenía la célula madre; pero que cuentan con información completa para todos los rasgos estructurales y funcionales del organismo al que pertenecen. La meiosis se produce siempre que hay un proceso de reproducción sexual y ocurre mediante dos divisiones consecutivas denominadas meiosis I y meiosis II. Presenta tres procesos esenciales:

- Apareamiento de cromosomas homólogos (zigoteno: profase I).
- Recombinación de genes o Crossing Over (paquiteno: profase I).
- Separación de cromosomas homólogos (anafase I).

3.5.1 MEIOSIS I (REDUCCIONAL):

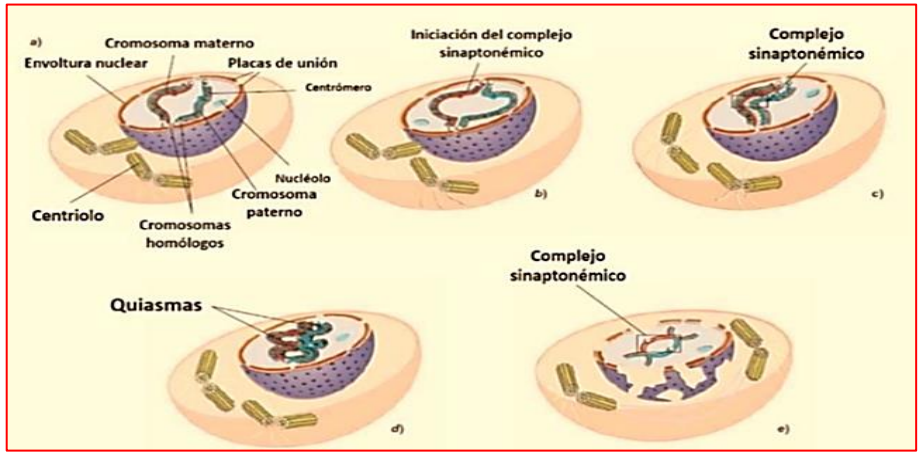
Reducción del número de cromosomas, las células diploides originan células haploides. Comprende las siguientes fases:

a) Profase I:

- **Leptoteno:** (Lepto = delgado, nema = filamento): Los cromosomas se hacen visibles, se componen de pares de cromátidas (Fig. 3.17a).
- **Zigoteno:** (Zigo = adjunto, unión): Los cromosomas homólogos se aparean en un proceso llamado sinapsis. La sinapsis de los cromosomas ocurre por la formación de una estructura compleja denominada complejo sinaptonémico (Fig. 3.17b).
- **Paquiteno:** (Paqui = grueso): Es la primera etapa de la profase que tiende a ser prolongada. En tanto, el leptoteno y zigoteno, por lo general, duran unas pocas horas, el paquiteno con frecuencia se extiende por un periodo de días o semanas e incluso años. Este proceso, entre otros, permite un intercambio de genes entre las cromátidas homólogas, de tal forma que las células hijas resultantes son distintas genéticamente entre ellas y distintas también de la célula precursora de la que provienen. En esta etapa se lleva a cabo la recombinación genética o crossing over (Fig. 3.17c).

- **Diploteno:** (diplo = doble): Los cromosomas homólogos se separan; pero mantienen puntos de unión específicos denominados quiasmas. Los quiasmas, por lo general, se localizan en los sitios del cromosoma donde ocurre el intercambio genético (Fig. 3.17d).
- **Diacinesis:** (dia = a través de, cinesis = movimiento): El número de quiasmas se reduce, los cromosomas se preparan para fijarse a las fibras del huso meiótico. La diacinecis termina con la desaparición de los nucléolos, la rotura de la envoltura nuclear y el desplazamiento de las tétradas hacia la placa de la metafase (Fig. 3.17e).

Fig. 3.20. Profase I



Nota: La Fig. representa la Profase I: a) Leptoteno; b) Zigoteno; c) Paquiteno; d) Diploteno y e) Diacinesis. Tomado de Erize y Gonzales, 2018. Biología la ciencia de la vida.

b) **Metafase I:** Los pares de cromosomas homólogos se alinean en el plano ecuatorial de la célula, formando la placa ecuatorial.

c) **Anafase I:** Los cromosomas homólogos se separan y migran hacia los polos opuestos.

d) **Telofase I:** Los cromosomas homólogos llegan a los polos opuestos. Los cromosomas pueden persistir condensados por algún tiempo.

3.5.2 MEIOSIS II (ECUACIONAL):

Cuyo resultado final es la formación de cuatro células hijas, cada una de las cuales tienen “n” cromosomas (haploides).

a) **Profase II:** Es simple, los cromosomas simplemente se vuelven a condensar y empieza la formación del huso acromático.

b) **Metafase II:** Los cromosomas se disponen en el plano ecuatorial.

c) **Anafase II:** Las cromátidas hermanas se desplazan hacia los polos opuestos de la célula.

d) **Telofase II:** Los cromosomas una vez más quedan encerrados por una envoltura nuclear.

Significado biológico de la meiosis

- A nivel genético, es una de las fuentes de variabilidad de la información.
- A nivel celular, la meiosis da lugar a la reducción cromosómica. Las células diploides se convierten en haploides.
- A nivel orgánico, las células haploides resultantes se van a convertir en las células sexuales reproductoras (gametos o esporas).

3.6 DOMINIO EUBACTERIA

Las eubacterias son un dominio ampliamente distribuido en la Tierra, colonizan una variedad de hábitats, desde las remotas plataformas de hielo de la Antártida hasta los desiertos más áridos de África. Su presencia se extiende incluso al interior de plantas y animales, y se han descubierto comunidades bacterianas en capas de rocas y a profundidades de varios kilómetros bajo la superficie terrestre. Se estima que algunas de estas comunidades bacterianas han permanecido aisladas de la vida en la superficie durante más de 100 millones de años. (Iwasa y Wallace, 2019) Comprenden a bacterias y cianobacterias.

3.6.1 BACTERIAS

Microorganismos unicelulares o coloniales que se desarrollan en diferentes ambientes, pueden ser de vida libre, simbióticas o parásitas; en este último caso producen enfermedades en plantas y animales. Su reproducción es netamente asexual,

generalmente por fisión binaria. Presentan pared celular a base de mureína llamada también peptidoglucano.

La mayoría son heterótrofos, con algunas excepciones autótrofas, como las bacterias purpúreas verdes. Al ser células procariotas, no poseen núcleo, mitocondrias, cloroplastos, retículo endoplásmico, complejo de Golgi ni lisosomas.

El denso citoplasma contiene ribosomas y gránulos de almacenamiento como glicógeno, lípidos o compuestos fosfatados. Aunque se han identificado miles de tipos de bacterias, tienen tres formas principales: esférica (cocos), cilíndrica (bacilos) y en espiral (espirilos). La mayoría de ellas cuenta con flagelos. Tenemos bacterias también que fijan el nitrógeno atmosférico como el género *Rhyzobium*, patógenos como: *Mycobacterium* tuberculosis y beneficiosos en la industria como el género *Bacillus thuringiensis,* utilizada para el control biológico de insectos dañinos.

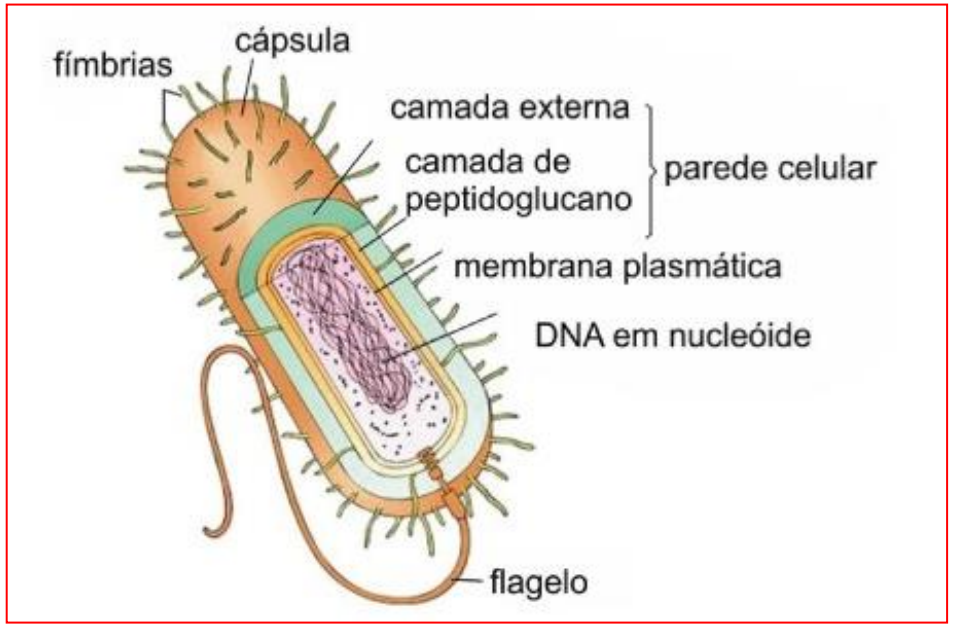
3.6.1.1 Estructura de la célula procariota

Según De Erize y Gonzales, (2018), la célula procariota posee las siguientes estructuras:

- Cápsula: Es una capa protectora flexible o rígida que envuelve la pared celular formada de polisacáridos.
- Pared celular: Está constituida por polisacáridos (celulosa en las cianobacterias y peptidoglucano en las bacterias) y proteínas que forman una red de protección de la célula en contra de la presión osmótica.
- Membrana plasmática: De composición lipídica y proteica en la que hay enzimas que participan en los procesos metabólicos que requiere la célula, como la respiración celular; además, se encarga del transporte de sustancias.
- Ribosomas: Se encuentran libres en el citoplasma y realizan la síntesis de proteínas.
- Nucleoide: Está formado por una sola cadena de doble hélice de ADN asociado a proteínas no histonas.
- Mesosomas: Son invaginaciones de la membrana que se ubican cerca de la zona de división celular y que aumentan la superficie.
- Plásmidos: Son pequeños segmentos de ADN de forma circular que se multiplican y se unen al nucleoide para que la célula pueda dividirse.

- Inclusiones: Son sustancias inorgánicas y moléculas orgánicas que sirven de reserva.
- Citoesqueleto: Está constituido de microfilamentos y microtúbulos que le dan sostén, forma y movimiento.
- Flagelos: Son prolongaciones extendidas con movimientos ondulatorios cuya función es el desplazamiento de la célula.
- Pili: Son prolongaciones más cortas y delgadas que los flagelos; no son responsables del movimiento de la célula, sino que permiten la unión o adhesión de la bacteria a un sustrato, a otras bacterias o a células eucariotas. (p. 98)

Fig. 3.21. Dominio Eubacteria



Nota: La Fig. representa a la bacteria como célula procariota. Tomado de https://foodsafetybrazil.org/wp-content/uploads/2020/07/bact%C3%A9ria.jpg

3.6.1.2 Clasificación de las bacterias

Un criterio taxonómico importante para la clasificación de bacterias es su respuesta ante la coloración de Gram, la cual se inicia aplicando un colorante básico: el violeta cristal. Luego se aplica una solución de yodo. En este momento todas las células tiñen de color azul. Entonces todas las células son tratadas con

alcohol. Las Gram positivas reconocen el complejo violeta cristal – yodo, permaneciendo de color azul; por otra parte, las Gram negativas se decoloran completamente por el alcohol. Por último, se aplica un colorante de contraste como la Safranina, la cual teñirá las células Gram negativas decoloradas con tonalidades rojizas.

a) Gram positivas

Bacterias que, ante la tinción de Gram, se tiñen de color azul, debido a que su envoltura celular está compuesta por una membrana plasmática y una gruesa capa de peptidoglicano que la rodea y tiene la capacidad de retener el tinte violeta cristal, dando como resultado las tonalidades azuladas. Ejemplo: *Clostridium botulinum* (botulismo), *Clostridium tetani* (tétanos), *Bacillus anthracis* (ántrax), *Staphylococcus aureus.*

b) Gram negativas

Bacterias que, ante la tinción de Gram, se tiñen de tonalidades de color rojo, generalmente rosado tenue. Esto se debe a la naturaleza de su envoltura celular, la cual está compuesta de dos capas lipídicas (externa e interna) que se encuentran rodeado de una delgada pared celular hecha de peptidoglicano. Al tener solo una capa fina de pared celular, el tinte se decolora rápidamente por el efecto del alcohol, para posteriormente teñirse con Safranina. Ejemplo: *Escherichia coli, Neisseria gonorrhoeae* (Gonorrea), *Helicobacter pylori* (Úlceras-Gastritis), *Salmonella typhi* (Fiebre tifoidea).

3.6.2 CIANOBACTERIAS

Las cianobacterias son organismos procariotas con una amplia diversidad morfológica, encontrándose formas unicelulares, coloniales y filamentosas. Se dividen por medio de fisión binaria y múltiple, fragmentación, esporas, entre otros.

En estos organismos, el color que presenta es debido al predominio de la clorofila "a" que es de color verde brillante, la ficocianina que es de color azul y la ficoeritrina que es de color rojo; de ahí el color verde azulado o rojizo que presentan estas cianobacterias. Fijan también el nitrógeno atmosférico y algunas sirven para la alimentación humana como el Nostoc. Entre otros géneros representativos tenemos a Nostoc, Oscillatoria, Spirulina, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cooper, G. M., & Hausman, R. E. (2022). *La célula* (8ª ed.). Ed. Marbán.
2. De Erize, E., & Gonzales, J. (2018). *Biología: La ciencia de la vida* (1ª ed.). McGraw Hill.
3. Lodish, H., et al. (2023). *Biología celular y molecular* (9ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
4. Frasch, A. C., & De Robertis, R. M. (2019). *Biología celular y molecular* (22ª ed.).
5. Alarcón, L., Del Carpio, W., & Sanz, A. (2019). *Biología celular* (2ª ed.).
6. Iwasa, J., & Marshall, W. (2019). *Biología celular y molecular*. McGraw Hill.

TEMA 4: REINOS PLANTAE Y ANIMALIA E HISTOLOGÍA

En este capítulo describiremos las principales características de los reinos plantae y animalia, así como, las principales características y componentes de los tejidos vegetales y animales.

4 REINOS PLANTAE Y ANIMALIA E HISTOLOGÍA

4.1 REINO PLANTAE

Ceolin (2023), señala que los seres vivos que pertenecen a este reino son más de 300 mil especies terrestres, tienen las siguientes características:

- Las plantas son organismos que están formados por células eucarióticas.
- Pueden realizar fotosíntesis ya que contienen clorofila "a" y "b", carotenos y xantofilas.
- Poseen muchas células (multicelulares) con paredes celulares que contienen celulosa.
- Pueden tener reproducción asexual o sexual, con alternancia de generaciones gametofítica y esporofítica.
- Son organismos que tienen crecimiento permanente y no presentan movilidad.

Fig.4.1. Reino Plantae

CLASIFICACION DE LAS PLANTAS
PLANTAS NO VASCULARES O BRIOFITAS
PLANTAS VASCULARES O TRAQUEOFITAS
NO TIENEN VASOS CONDUCTORES QUE TRANSPORTAN AGUA Y SALES MINERALES.
SI TIENEN VASOS CONDUCTORES ESPECIALIZADOS QUE TRANSPORTAN AGUA Y SALES MINERALES.
SE DIVIDEN EN:
SE DIVIDEN EN:
MUSGOS
HEPATICAS
SIN SEMILLAS
CON SEMILLAS

Nota: La Fig. representa las plantas y su clasificación. Tomado de *https://image.slidesharecdn.com/reinoplantae-150825225741-lva1-app6892/95/reino-plantae-6-638.jpg?cb=1440543743*

Des Abbayes (2021) menciona que las plantas se clasifican en diversos grupos:

4.4.1. DIVISIÓN BRYOPHYTA:

Representan a las plantas más primitivas evolutivamente hablando, poseen características muy simples, como:

- Plantas avasculares (no desarrollan xilema ni floema), carecen de flores, frutos, semillas y órganos verdaderos.
- Reproducción por alternancia de generaciones bien delimitada en donde la generación gametofítica es dominante.
- Presenta gametos móviles.
- Los gametofitos se propagan formando un extenso manto verde, esto ocurre porque son plantas individuales.
- Pueden ser musgos (*Polytrichum),* Hepáticas (*Marchantia)* y Antocerotas (*Anthoceros)*.

4.1.2. DIVISIÓN PTERIDOPHYTA:

Conocidas como helechos. Presentan las siguientes características:

- Presentan tallos, hojas y raíces, pero carecen de flores, frutos y semillas.
- Reproducción por alternancia de generaciones donde la generación esporofítica (donde se produce la espora) es dominante y el gametofito es de vida corta y fotosintético.
- En general son homospóricas
- Sus gametos son móviles.
- Dentro de las pteridofitas tenemos a los helechos (*Dryopteris)* y colas de caballo (*Equisetum)*.

4.1.3. DIVISIÓN PINOPHYTA:

A este grupo de plantas se las llama Gimnospermas, y dentro de sus principales características tenemos:

- Poseen vasos por lo que son vasculares heterospóricas, presentando hojas que por lo general son aciculares y también, tejidos leñosos.
- La mayor parte son perennes.
- Sus semillas están expuestas o desnudas, ya que no poseen ninguna estructura protectora (el ovario u hoja carpelar) como si tienen las Angiospermas.
- Asimismo, poseen gametos inmóviles.

- La generación “esporofítica” es dominante.
- Entre los géneros representativos podemos mencionar a *Cupressus*, *Pinus*, *Araucaria*, etc.

Fig. 4.2. Bryophytas, Pteridofitas y Pinophytas

Nota: La Fig. representa las plantas Bryophytas, Pteridofitas y Pinophytas. Tomado de https://debazan.es/briofitas-y-pteridofitas/

4.1.4. DIVISIÓN ANTHOPHYTA:

Se las conoce también con el nombre de angiospermas. Representan el mayor grupo de plantas del planeta, siendo también el más evolucionado. Su tamaño puede variar desde apenas 1 cm, como la lenteja de agua (*Lemna*), hasta 50 m como un eucalipto (*Eucalyptus*). Conforman la población más numerosa de especies conocidas (alrededor de 275.000), convirtiéndose en las plantas de mayor importancia para los animales incluido el hombre. Poseen vasos conductores (vascularizadas), sus flores poseen primordios seminales cubiertos por una envoltura protectora, el carpelo, la cual al madurar dará origen al fruto que contendrá las semillas. Dentro de sus características más importantes, podemos resaltar la fecundación doble, son heterospóricas, esporofito dominante con gametofito muy reducido, las semillas contienen endospermo como tejido nutritivo. Tradicionalmente a las angiospermas se les agrupa en 2 grandes clases taxonómicas: las monocotiledóneas (Liliopsida) y las dicotiledóneas (Magnoliopsida), ejemplos:

- Monocotiledóneas (*Zea, Pennicetum*, *Oriza, Triticum,* etc.)
- Dicotiledóneas (Rosa*, Solanum, Morus*, *Salix, Casuarina*, etc.)

Fig. 4.3. Anthopyta

Nota: La figura pertenece a plantas angiospermas. Tomado de

https://www.shutterstock.com/es/image-vector/parts-grapefruit-plant-on-green-background-1333617281

4.2. HISTOLOGÍA VEGETAL

Como Vázquez (2020) menciona, las plantas vasculares adultas o traqueofitas, poseen tejidos diferenciados de acuerdo con la función que desempeñan, tejidos de crecimiento (meristemos), protectores (epidermis y peridermis), fundamentales (parénquimas), de sostén (colénquima y esclerénquima), conductores (floema y xilema). Las plantas poseen estructuras secretoras en las cuales almacenan sustancias metabólicas, las que no utilizan de forma inmediata ni directa. Los tejidos de una planta se clasifican de la siguiente manera:

4.2.1. TEJIDOS MERISTEMÁTICOS (EMBRIONARIOS)

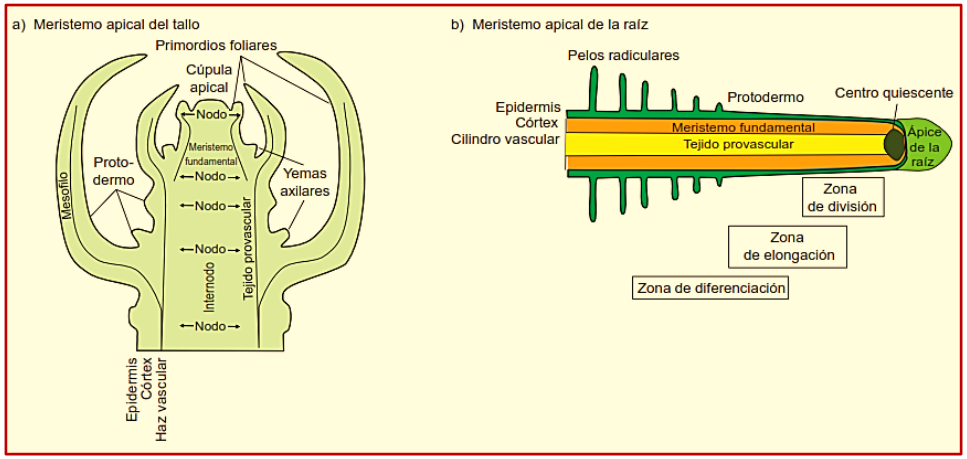
Las células que los conforman son no diferenciadas, las cuales se están dividiendo constantemente. Estos tejidos son de crecimiento permanente en los vegetales, ya que están presentes toda su vida y se caracterizan porque presenta células pequeñísimas con paredes delgadas. Poseen núcleos grandes que permanentemente están en división y crecimiento (las plantas tienen un crecimiento ilimitado).

Pueden ser de dos tipos:

- **Tejido meristemático apical o primario**

Están localizados en las partes extremas de las raíces (cono vegetativo) y tallos (yemas), diremos entonces que son los responsables del crecimiento en longitud de la planta.

Fig. 4.4. Meristemo apical del tallo y raíz.



Nota: La imagen fue tomada de Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal (p.6), por Escaso, 2010, Pearson Educación

- **Tejido meristemático lateral o secundario**

Se le conoce también como cambium, está localizado en el interior de raíces y tallos, teniendo como finalidad el engrosamiento de los mismos. Los podemos clasificar en dos:

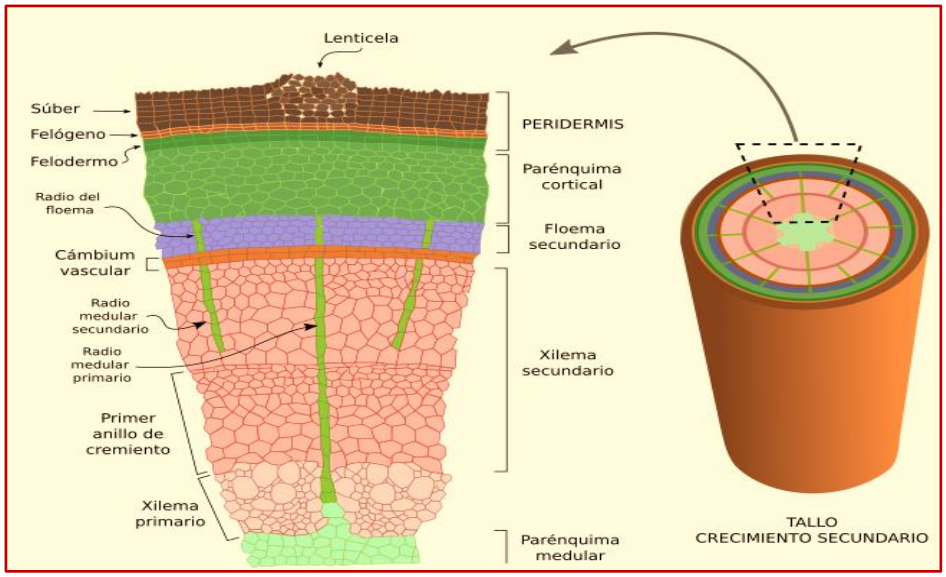
a) Cambium vascular:

Es la porción interna y se encarga de formar el tejido vascular. Se encuentra localizado entre el floema (corteza interna) y el xilema (médula o madera) y se encarga de producir tejidos conductores secundarios (floema hacia el exterior y xilema hacia el interior)

b) Cambium suberoso:

Es la porción externa y se encarga de formar los tejidos de la corteza. Se inicia en la corteza externa y origina el peridermis, que es el tejido protector de tallos y raíces de plantas leñosas, reemplazando a la epidermis.

Fig. 4.5. Esquema de meristemo secundario



Nota: la imagen muestra meristemo apical del tallo y raíz, fue adaptado y tomado de Atlas de histología vegetal y animal (https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/imagenes/tallo-secundario-partes.png)

4.2.2. TEJIDOS DEFINITIVOS (ADULTOS)

Se originan a partir de los tejidos meristemáticos. Se han especializado (diferenciado) en una función determinada y sus células poseen poca capacidad reproductiva. Una gran parte de estos tejidos poseen dentro de sus componentes estructurales células muertas.

Se reconocen varios tipos fundamentales:

4.2.1. Tejidos protectores (tegumentarios)

Se encuentran recubriendo y protegiendo toda la planta. Pueden ser de dos tipos:

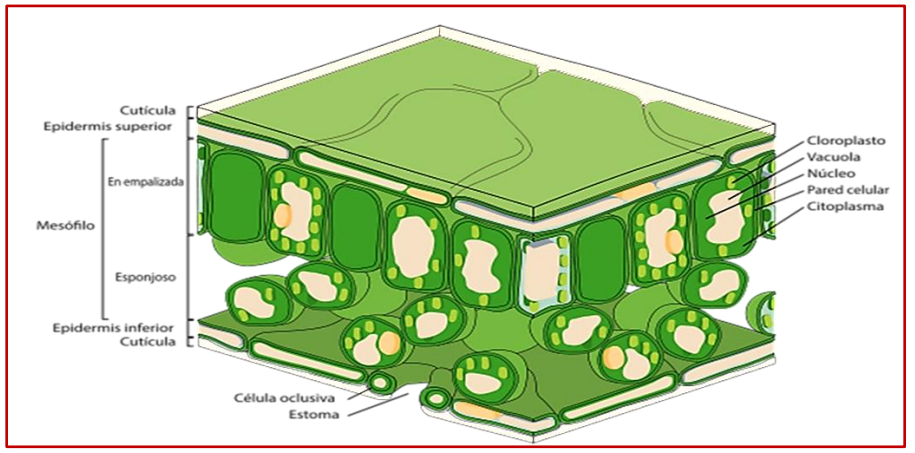
a) **Epidermis:** Recubre y protege las partes jóvenes y aéreas de la planta. Está formado por una capa de células vivas, planas, que carecen de cloroplastos, pero poseen grandes vacuolas. A este nivel se forma una sustancia cérea, la cutina, la cual previene la pérdida de agua, ya que desarrolla una capa gruesa denominada cutícula. También podemos apreciar modificaciones como los estomas y tricomas.

Estoma: Estructura que regula el intercambio gaseoso de la planta con el medio ambiente, así como la transpiración. Lo conforman células oclusivas, estomáticas o de cierre, las que forman una estructura especial a manera de un poro u ostiolo cuyo diámetro es regulado por las propias células oclusivas.

Tricomas: Son pelos o vellosidades con función protectora.

b) **Peridermis:** Reviste y protege las raíces, tallos y ramas adultas de las plantas. Posee varias capas de células muertas. En su parte externa presenta las lenticelas que reemplazan a las estomas de la epidermis pues realizan el intercambio gaseoso. Es el tejido de protección que reemplaza a la epidermis cuando hay crecimiento secundario (grosor) en los tallos y raíces de plantas leñosas y semileñosas. Desde el cambium suberoso se va generando el suber o corcho que son células muertas que poseen paredes suberificadas, hasta la parte la parte externa y hacia el interior de las células parenquimáticas. El conjunto suber-cambium-parénquima constituye el peridermis.

Fig. 4.6. Tejido epidérmico



Nota: la imagen fue adaptado de Los tejidos animales y vegetales (https://sway.com/s/vOEHlpykUxMjp6m2/embed)

4.2.2. Tejidos mecánicos o de sostén

Estos están formando el verdadero armazón o esqueleto de los vegetales. Las células que los conforman poseen una pared engrosada en forma parcial o total. Se les puede clasificar en dos tipos:

a) Colénquima

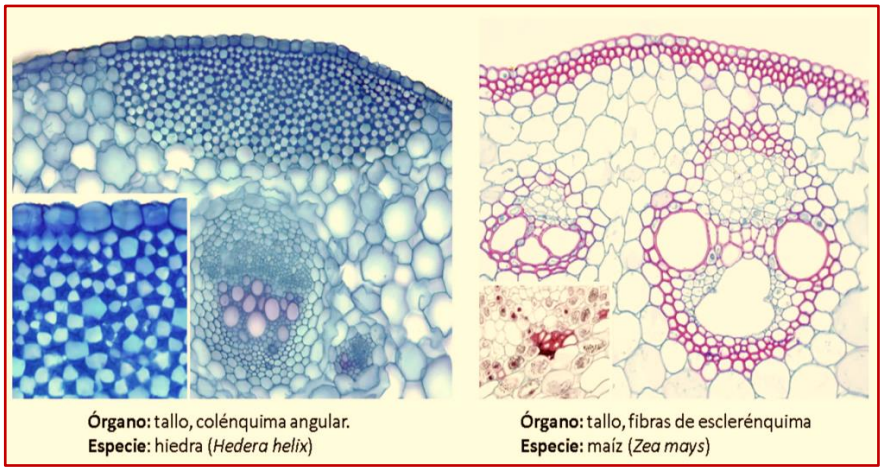
Este tejido se encuentra en órganos jóvenes (tallos, peciolos, pedúnculos, flores, etc.) localizados bajo la epidermis. Este tipo

de tejido posee células vivas, alargadas con paredes celulares con gruesas capas de celulosa. Da soporte mecánico a la planta sobre todo en las regiones de rápido crecimiento.

b) Esclerénquima

Se encuentra en las partes adultas de la planta (tronco, raíces, frutos maduros y semillas). Formado por células muertas de pared celular muy gruesa, debido al depósito de lignina. Presenta células muy largas y se les conoce como de fibras. Su función es proporcionar sostén y rigidez a los órganos que lo contiene, por lo que dificultan su crecimiento.

Fig. 4.7. Tejidos de sostén, colénquima y esclerénquima


Órgano: tallo, colénquima angular.
Especie: hiedra (Hedera helix)
Órgano: tallo, fibras de esclerénquima
Especie: maíz (Zea mays)

Nota: imagen adaptada de Atlas de histología vegetal y animal (https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/v-imagenes grandes/esclerenquima_fibras.php)

4.2.3. Tejidos conductores (vasculares)

a) Xilema o tejido leñoso

Conformado por células muertas, las cuales poseen paredes muy gruesas llenas de lignina, tienen por función el transporte de agua y solutos (savia bruta) desde las raíces, que son las zonas de absorción unidireccionalmente, de la raíz hacia las hojas (flujo ascendente). Presenta varios tipos celulares, pero los principales en su papel conductor se denominan los elementos traqueales, que a su vez se componen de dos tipos de células: las traqueidas y las tráqueas (o vasos).

Vasos leñosos (tráqueas): Formados por una cadena de células muertas cilíndricas alargadas. Las paredes laterales del tubo presentan perforaciones (orificios) y están impregnadas de lignina y forman tubos continuos denominados vasos, por lo que funcionalmente son más eficientes. Sólo están presentes en las angiospermas o plantas superiores.

Traqueidas: Formadas por células muertas delgadas, de paredes prolongadas que terminan en una punta afilada y

perforada; estas perforaciones se llaman punteaduras y conectan las traqueidas entre sí. Presentes principalmente en los grupos más primitivos de plantas con semillas.

Otros elementos son las fibras. que pueden ser más largas que las traqueidas, que poseen paredes secundarias lignificadas y pueden ser xilares y extraxilares.

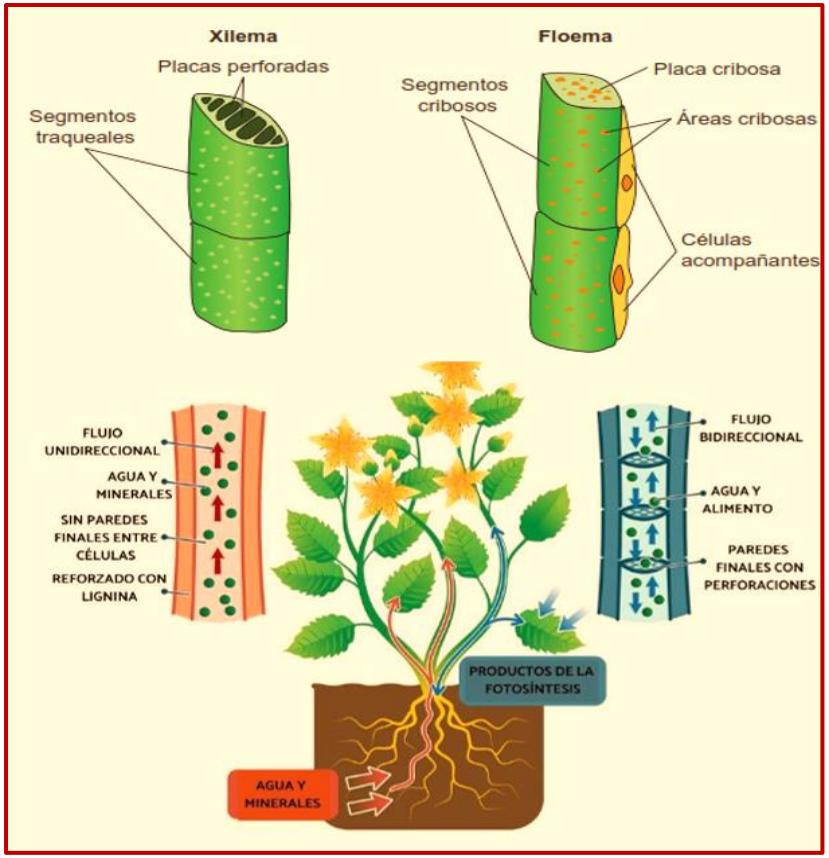
b) Floema

Posee células vivas, pero anucleadas, de forma cilíndrica, estas se encuentran unidas por sus extremos, conformando los vasos liberianos o tubos cribosos. Estas células son sostenidas por lasr las llamadas células acompañantes (nucleadas) que se encuentran a lado de ellas.

Desempeñan la importante función de transportar la savia elaborada (agua, glúcidos, aceites, proteínas y hormonas) bidireccionalmente.

El floema presenta dos clases de estructuras: los tubos cribosos, vasos liberianos presentan protoplasma; diferenciándolos de las tráqueas que poseen células alargadas de paredes transversales y oblicuas atravesadas a modo de cribas; y las células anexas (pequeñas, nucleadas y con abundantes mitocondrias), son las encargadas de suplementar el metabolismo de los protoplastos, cargar y descargar el tubo criboso.

Fig. 4.8. Xilema y Floema



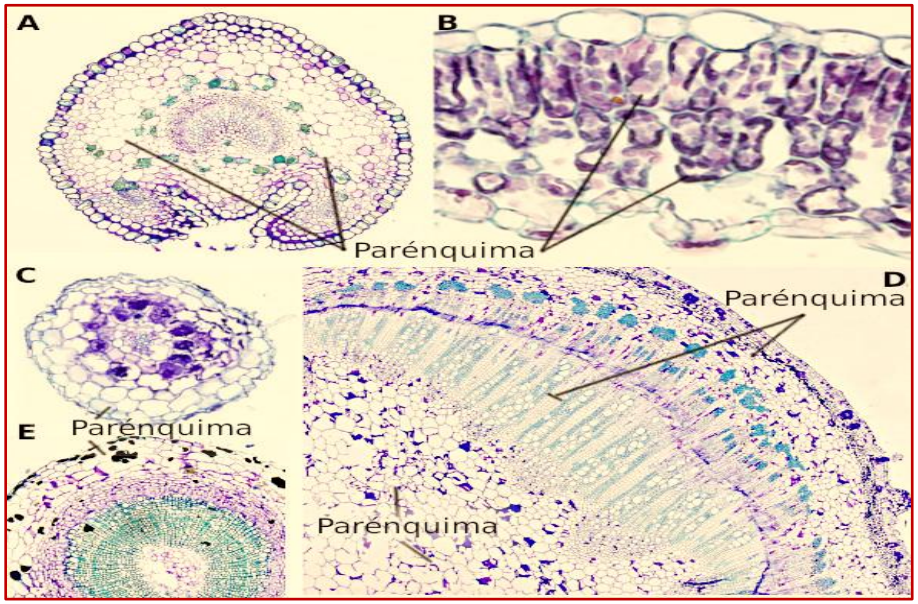
Nota: la imagen fue tomado y adaptado de Ecología verde *https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-xilema-y-su-funcion-2707.html*

4.2.4. Tejidos fundamentales o parénquimas

En este tipo de tejidos, se produce la fotosíntesis y el almacenamiento de almidón, agua y aire. El parénquima fundamental es un tejido de relleno de los órganos de la planta, forma parte de la médula y el córtex de tallos y raíces, así como también lo encontramos en la pulpa de los frutos.

Lo encontramos también formando parte del cuerpo de la planta, constituyendo la masa en la que se encuentran todos los demás tejidos. Sus células presentan una turgencia que sirve para dar solidez general al cuerpo vegetativo. Una de sus características es ser compacto o tener espacios intercelulares. El parénquima fundamental posee células poliédricas e isodiamétricas. Presenta vacuolas de gran tamaño; que son capaces de almacenar antocianinas, taninos o cristales (oxalatos, carbonatos) en células comunes o idioblastos.

Fig. 4.9. Tejidos parenquimáticos



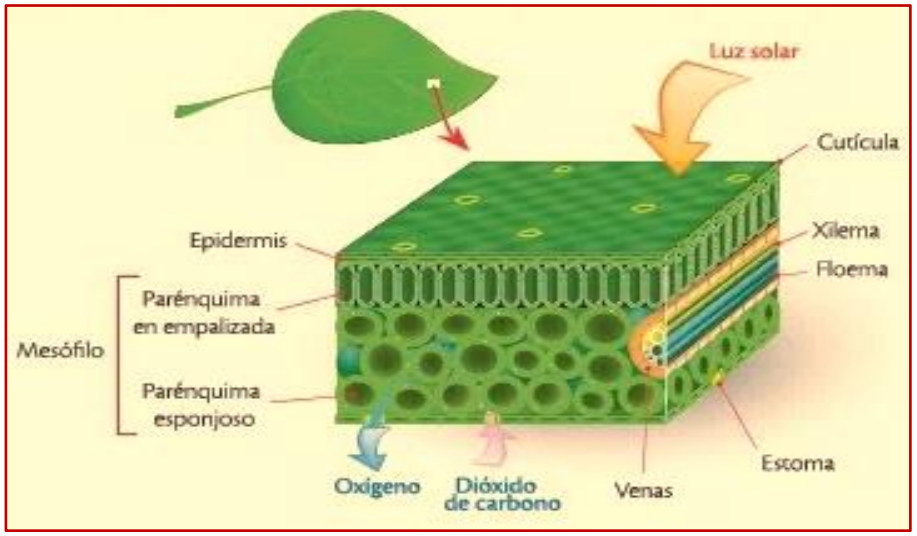
Nota: imagen fue tomado de Atlas de histología vegetal y animal A. En un peciolo. B. En una hoja. C. en una raíz primaria. D. En un tallo secundario. E. En una raíz secundaria. (https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada_v_parenquima.php)

Se conocen varios tipos como las siguientes:

a) **Parénquima clorofiliano o clorénquima:** Presenta un color verde característico, ya que, presentan abundantes cloroplastos en el interior de sus células. Está presente en las zonas expuestas a la luz. Es particularmente abundante

en las hojas (mesófilo). Su función principal es la fotosíntesis, los cloroplastos se encargan de captar la energía lumínica transformándola en energía química.

Fig. 4.10. Tejido parenquimático responsable de la fotosíntesis



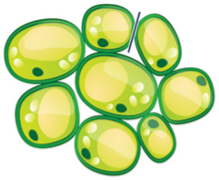
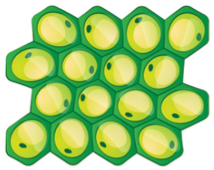
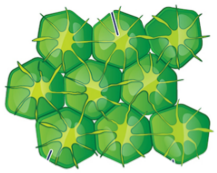
Nota: la imagen fue tomado y adaptado de Ecología verde (https://tuguiadeaprendizaje.co/taller-los-tejidos-vegetales/)

b) **Parénquima de reserva:** Está compuesto por células donde predominan los leucoplastos. Está presente en zonas no expuestas a la luz como raíz y tallos subterráneos (bulbo, rizoma, tubérculo). También se le conoce como parénquima incoloro. La función principal es el almacenamiento de almidón.

c) **El Parénquima acuífero:** presenta vacuolas que sirven de reserva en épocas de sequía, almacena agua o sustancias acuosas. Ej.: Cactus, hojas de Agave (Monocotiledóneas) y algunas epífitas.

d) **El Parénquima aerífero o aerénquima:** Contiene grandes espacios intercelulares (meatos) que dejan grandes espacios entre ellos y comunicados entre sí, por donde circulan los gases que permiten la aireación y flotación de las plantas acuáticas. Este tipo de parénquima es típico de las plantas (angiospermas) acuáticas tanto en las hojas como en la raíz.

Fig. 4.11. Cuadro comparativo entre los tejidos fundamentales

CARACTERISTICA	PARENQUIMA	COLENQUIMA	ESCLERENQUIMA
Esquema			
Forma de la célula	Poliédricas, isodiamétricas, ovaladas, esféricas	Alargada, circular, ovalada	Diversas formas, fibras y esclereidas
Pared celular	Delgada y celulósica	Presenta celulosa, engrosamiento desigual	Pared celular gruesa secundaria lignificada
Citoplasma	abundante	Presente	Ausente
Núcleo	Presente	Presente	Ausente (tejido muerto)
Vacuola	De gran tamaño	vacuolado	Ausente
Espacio intercelular	Presente	Ausente	Ausente
Ubicación	Como tejido de relleno, en las partes blandas, médula y rayos medulares , el córtex de tallos y raíces, la pulpa de los frutos	órganos vegetales jóvenes (tallos, peciolos, pedúnculos, flores, etc.) subepidermis, ausente en la raíz	Partes adultas como tronco, raíces, frutos maduros y semillas, Hipodermis de las dicotiledóneas, vaina del haz vascular, periciclo
Funciones	Almacenamiento de sustancias nutritivas y fotosíntesis	Resistencia a la tracción, soporte mecánico y	sostén y rigidez, protección contra el estrés y tensión

Nota: las imágenes fueron adaptadas de shutterstocK *(https://www.shutterstock.com/es/image-vector/types-plant-tissue-vector-illustration-labeled-1758539759)*

4.2.5. Tejidos secretores

Elabora, almacena y secreta sustancias producto del metabolismo. Las plantas son incapaces de eliminar sustancias producto del desecho metabólico como si lo hacen los animales, por lo tanto, poseen sistemas secretores específicos, células que producen sustancias, como aceites esenciales, resinas, látex, cristales, alcaloides, etc. Son modificaciones del tejido epidérmico y parenquimático.

Las estructuras secretoras de las plantas son:

- **Pelos glandulares:** que secretan generalmente aceites esenciales.
- **Cavidades secretoras:** cavidades que contienen aceites esenciales.
- **Nectarios:** que contienen el néctar de las flores. Estas son glándulas que secretan una solución azucarada denominada néctar que atrae insectos, aves y otros animales. Los azúcares más comunes son la glucosa, fructosa y sucrosa.
- **Tubos laticíferos:** que son células o grupos de células muy vacuolizadas y cuyo jugo celular constituye el látex (agua, grasas, amiloplastos, resinas, alcaloides, ceras, etc.). Este es un líquido de aspecto y composición variable, generalmente lechoso, puede ser amarillento o rojizo.

4.3. REINO ANIMALIA

El reino animal, también conocido en latín como animalia (animal), es un conjunto de seres vivos muy complejos, que comparten características relevantes que los distingue de otros. Los organismos de este reino presentan actividad conductual, así como, una enorme diversidad morfológica. Poseen varias células, lo que los convierte en pluricelulares, sus células poseen núcleos verdaderos lo que los convierte en eucariotas, heterótrofo (se alimentan de otros seres vivos). Presentan principalmente un tipo de reproducción sexual y locomoción autónoma, excepto sésiles.

El reino animalia está constituido por diversos filos o tipos de organización taxonómicas, destacando los animales invertebrados (no poseen columna vertebral) y los vertebrados (poseen columna vertebral y cráneo) que a su vez pertenecen al Phylum Chordata. Poseen las siguientes características:

- Todos los animales son eucariotas multicelulares.
- Son heterótrofos. Con metabolismo aerobio.
- La mayoría se reproducen sexualmente.
- Percepción de estímulos y capacidad de respuesta a ellos, mediante un sistema nervioso.
- Facultad de locomoción o desplazamiento, mediante apéndices móviles o contracción del cuerpo.
- Membranas celulares no celulósicas.
- Crecimiento definido y diferenciado, que se detiene con la edad.
- Todos son Metazoos, animales multicelulares que digieren comida.

Comprende los siguientes Phylum:

4.3.1. PHYLUM PORIFERA

Comprende a las esponjas. Son los animales metazoos de organización más simple; carecen de órganos, la mayoría es asimétrica o presenta simetría radial incipiente, el cuerpo está constituido por asociaciones de células con funciones independientes, podemos destacar a las células que se encuentran tapizando las superficies internas, los coanocitos.

Todos los integrantes de este Phylum son acuáticos, sésiles (se mantienen fijos) en su fase adulta. El agua es capaz de

movilizarse constantemente a través cuerpo ya que posee gran cantidad de aberturas o poros y conductos. Aunque pareciera que es un organismo complejo, no lo es ya que no presentan órganos, pero importante destacar que las funciones vitales (nutrición, excreción e intercambio gaseoso) son realizadas por cada célula (intracelular). Ejemplo: *Leucosolenia*, etc.

4.3.2. PHYLUM COELENTERATA O CNIDARIA

Son animales metazoos de vida acuática, y los organismos se dividen en 2 tipos:

- Pólipo o hidrante, de cuerpo tubular, con un extremo cerrado, por donde se fija (sésil), y el otro con una boca central que suele estar rodeada de tentáculos blandos.
- Medusa, que nada libremente y tiene el cuerpo gelatinoso en forma de sombrilla, con tentáculos en el borde y la boca situada en un saliente de la superficie cóncava. Su cuerpo está formado por 2 capas tisulares diferenciadas: la epidermis (externa) y la gastrodermis (interna), separados por una capa gelatinosa o mesoglea. Poseen tentáculos provistos de nematocistos, que son vesículas con sustancias urticantes que les permiten cazar sus presas. Las funciones básicas se llevan a cabo en la cavidad gastrovascular (celenterón).

Las clases de mayor importancia ecológica son:

a) **Clase Sciphozoa:** Forma de medusa. Ejemplo: *Aurelia aurita* (Medusa común).

b) **Clase Anthozoa:** Forma de Pólipo (de flor). Anémonas, corales, plumas de mar.

c) **Clase Hidrozoa:** Hidroides o hidromedusas. Ejemplo: *Hydra americana* (Hidra).

d) **Clase Cubozoa:** Cubomedusas. Ejemplo: *Carybdea marsupialis* (Avispa de mar).

Fig. 4.12. Poríferos y Celentéreos

Nota: La figura representa los poríferos y cnidarios. Tomado de https://es.slideshare.net/vsunand/esponjas-y-cnidarios

4.3.3. PHYLUM PLATYHELMINTHES

Animales con cuerpo aplanado y simetría bilateral, acelomados, con tubo digestivo inexistente o incompleto (sin ano). Algunos son parásitos y otros de vida libre. Las clases de mayor importancia en la salud humana son:

a) **Clase Cestoda:** Tenias (*Taenia solium).*

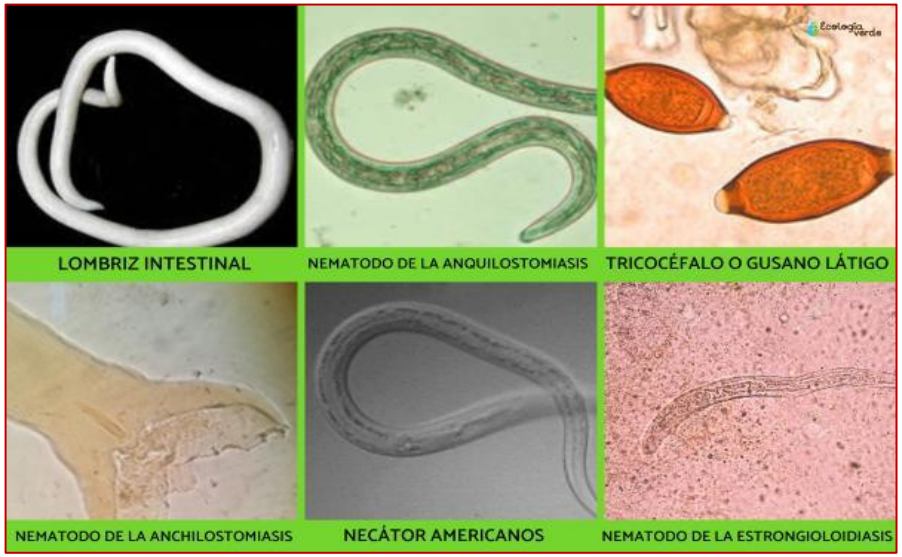
b) **Clase Trematoda:** Duelas (*Fasciola hepatica*).

c) **Clase Turbellaria:** Planarias (*Planaria torva*).

4.3.4. PHYLUM NEMATODA

Son característicos ya que poseen cuerpos cilíndricos, presentan simetría bilateral, están envueltos por una cutícula flexible, son pseudocelomados, en el hombre, algunos pueden ser parásitos, pero también pueden parasitar otros animales. Ejemplo: *Enterobius vermicularis* (oxiuros), *Ascaris lumbricoides* (lombriz intestinal), *Trichinella spiralis* (triquina).

Fig. 4.13. Phylum Nematoda



Nota: La figura representa los nematelmintos. Tomado de https://cdn0.ecologiaverde.com/es/posts/6/5/5/ejemplos_de_nematodos_2556_3_600.jpg

4.3.5. PHYLUM MOLLUSCA

Los moluscos son poseedores de un cuerpo blando, no presentan segmentos, tienen una cabeza anterior, un pie ventral y una masa visceral dorsal. Un manto fino y carnoso se encuentra cubriendo el cuerpo, que es una excrecencia de la pared del cuerpo, algunos integrantes poseen una concha calcárea externa que les sirve de protección (secretada por el mismo manto). Es un Phylum que presenta un gran número de especies.

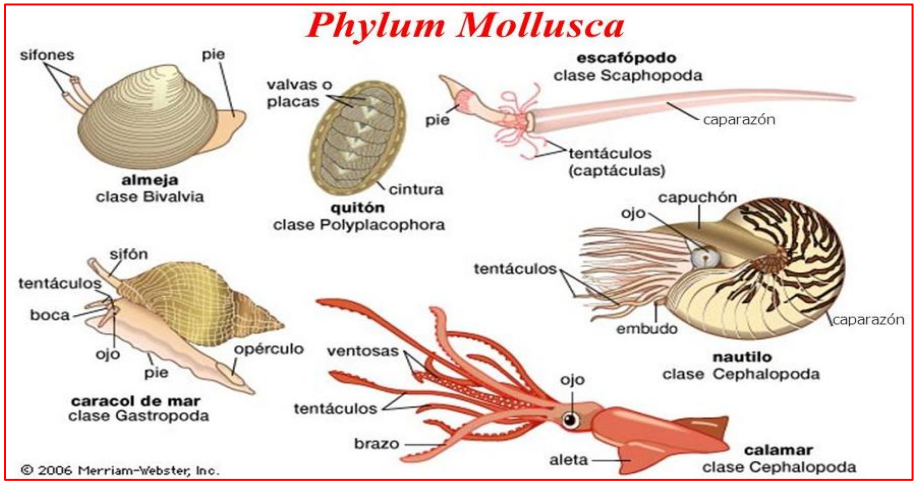
Las clases más reconocidas por su importancia económica son:

a) **Clase Gasteropoda:** Caracoles.

b) **Clase Bivalvia:** Almeja, mejillón, ostras, choros.

c) **Clase Cephalopoda:** Pulpos, nautilos y calamares.

Fig. 4.14. Phylum Mollusca



Nota: La figura representa el Phylum molluscalos celentéreos. Tomado de *https://4.bp.blogspot.com/-0Ygl76Hw41c/V8IsRCMSjcI/AAAAAAAAARQ/oGtIu2rSwhk9tinyEsgryvumlg4pPRPewCLcB/s1600/esquemas_plipo_e_medusa.jpg*

4.3.6. PHYLUM ARTRÓPODOS

Este Phylum presentan simetría bilateral, celomados, y una característica resaltante, es que son poseedores de un exoesqueleto quitinoso, gracias a que producen una hormona llamada ecdisona, son capaces de mudar periódicamente sus exoesqueletos, también podemos destacar que presentan ojos compuestos. Los artrópodos representan un Phylum muy importante ya que se encuentra en casi todos los habitas del planeta y por ser el más grande, ya que, en este grupo están dispersos el mayor número de especies, y presentan una importancia ecológica y económica de primer orden.

Los integrantes de este Phylum, presentan cuerpos y patas articuladas, de ahí su nombre artrópodo, lo que nos indica que estas piezas se mueven. Dentro de sus integrantes están: insectos, quelicerados, crustáceos y miriápodos.

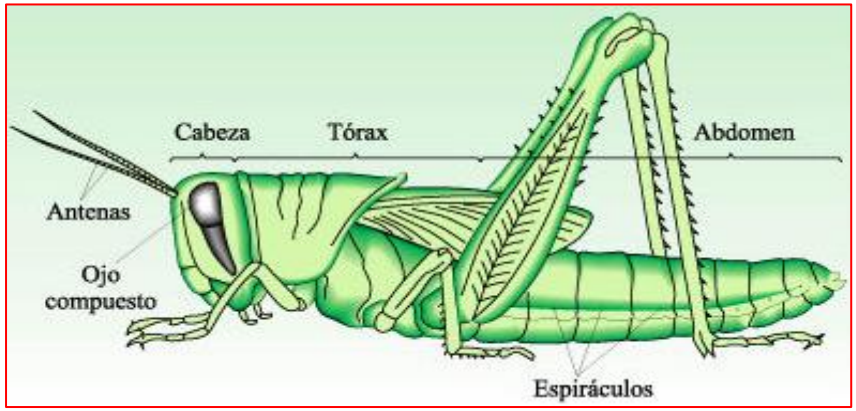
a) Subphylum Hexapoda

Clase Insecta

Representan al más numeroso de los grupos. Podemos observar las siguientes características:

- Una característica importante es, que poseen cabeza, tórax y abdomen.
- Los insectos presentan seis patas que nacen del tórax y dos antenas características ubicadas en sus cabezas.
- Al ser animales terrestres tienen tráqueas que son pequeños tubos presentes en el abdomen que les permiten respirar ya que es por aquí que recogen el aire para realizar el intercambio gaseoso.
- Son insectos: mosca, abeja, hormiga, abejorro, mariposa, libélula, etc.

Fig.: 4.15. Morfología externa de un saltamontes



Nota: La figura representa el saltamontes. Tomado de https://2.bp.blogspot.com/-UvqGHCgSPKk/WfHFNlyH44I/AAAAAAAAAldw/OhYRFXMj5043Hted4ih6n2c9fh4YVNG1ACLcBGAs/s1600/Salta%2B07.jpg

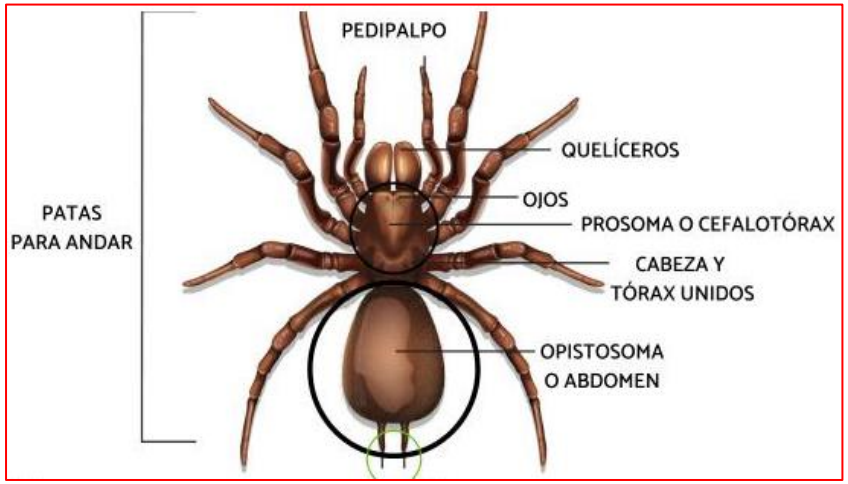
b) Subphylum Chelicerata

Clase Arachnida

Constituyen un variado grupo que por lo general son terrestres, comprende las arañas, escorpiones, seudoescorpiones, garrapatas, ácaros y unos pocos grupos no bien definidos. Presentan dos pares de piezas bucales (quelíceros y pedipalpos). Dentro de sus características tenemos:

- Los arácnidos tienen sus cuerpos divididos dos porciones, cefalotórax y abdomen. El cefalotórax es una pieza única que agrupa cabeza y tórax.
- A diferencia de los insectos no presentan antenas y del tronco nacen 8 patas.
- Tienen dos piezas semejantes a unos colmillos llamados quelíceros.
- Son terrestres y respiran por tráqueas.

Fig.4.16. Anatomía de la araña



Nota: La figura representa las partes de la araña. Tomado de https://cdn0.ecologiaverde.com/es/posts/3/3/7/partes_de_la_arana_3733_600.jpg

c) Subphylum Crustacea

Tienen las siguientes características:

- Su cuerpo se parece un poco al de los arácnidos ya que presentan cefalotórax y abdomen, de la parte que corresponde al tórax nacen 10 pares de patas, usualmente con un caparazón con forma de coraza que lo protege. A

diferencia de los arácnidos, los crustáceos si presentan dos antenas en sus cabezas.

- Algunos crustáceos como es el caso del cangrejo poseen dos pinzas que son sus dos patas delanteras.
- La mayoría respiran por branquias, porque son acuáticos.
- Son crustáceos: camarones, cangrejos, langostinos, cochinilla de la humedad.

d) Subphylum Myriapoda

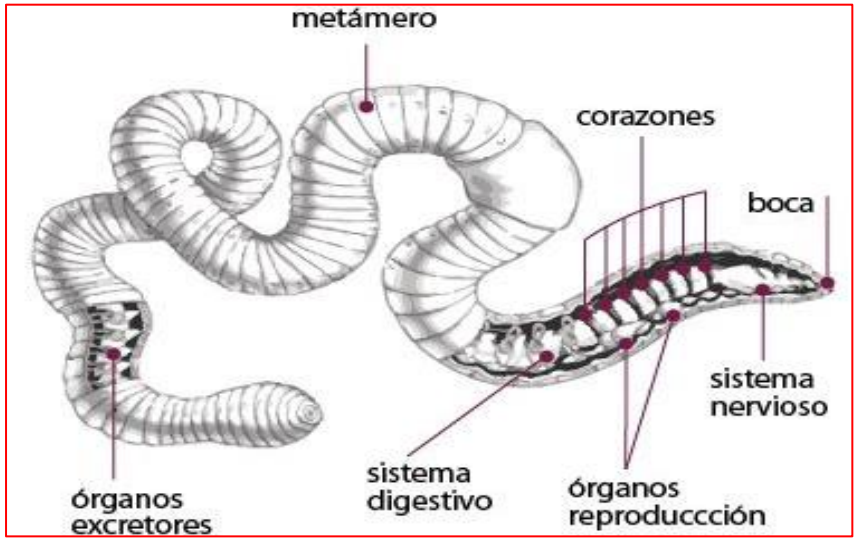
Tienen las siguientes características:

- Su cuerpo está dividido en cabeza y tronco. El tronco está formado por segmentos articulados, llamados anillos que presentan un par de patas a los extremos de cada anillo.
- Al igual que los insectos, también poseen dos antenas en la cabeza.
- Son terrestres y respiran por tráqueas.
- Son miriápodos: ciempiés, escolopendra y cardador.

4.3.7. PHYLUM ANNELIDA

Poseen simetría bilateral, con cuerpos segmentados en metámeros, celomados, con apéndices en forma de diminutas quetas; excepto, en la mayor parte de los hirudíneos. La gran mayoría son hermafroditas. Ejemplo: poliqueto marino del género Nereis, lombriz de tierra y sanguijuelas con el anticoagulante hirudína.

Fig. 4.17. Anatomía del anélido



Nota: La figura representa un anélido. Tomado de https://i.pinimg.com/550x/5f/fe/2e/5ffe2e8c5b9d9ab3247c6a4657b4ed5c.jpg

4.3.8. PHYLUM ECHINODERMATA

Animales marinos, poseen simetría radial (adultos), celomados, cuerpo no segmentado y cubierto por una delicada epidermis sobre un endoesqueleto resistente, formado por placas móviles o fijas, calcáreas; a menudo con espinas, pies externos en forma de tubo. Ejemplo: estrellas y soles de mar, erizos de mar, pepinos de mar, etc.

4.3.9. PHYLUM CHORDATA

Animales con simetría bilateral, celomados. Se caracterizan por tener un cordón nervioso dorsal tubular, el notocordio y las hendiduras branquiales; en alguna parte de su desarrollo. El notocordio es el principal órgano de sostén del cuerpo en la etapa embrionaria, suelen tener cola detrás y encima del ano.

4.3.9.1. SUBPHYLUM VERTEBRATA:

Una característica que resalta es que, todos los representantes de los vertebrados presentan un cerebro anterior que se encuentra en el interior de la caja craneana (craneados) y lo más importante para este Subphylum, es la presencia de columna vertebral, está, se origina a partir del notocordio, la columna vertebral constituye el eje de soporte del cuerpo. Podemos encontrar en este Subphylum a ciclóstomos, peces y tetrápodos.

a) Superclase Cyclostomi

Viven tanto en agua dulce como salada. No tiene escamas, tampoco mandíbula, pero si tienen de 5 a 16 pares de branquias. Poseen aletas impares, una boca chupadora rodeada de papilas calcáreas. Existen especies parásitas que emplean sus dientes para adherirse a los peces por succión, capaces de excavar un hoyo e inyectan un anticoagulante para paralizar y matar a su presa. Ejemplo: lampreas y mixines.

b) Peces

Son animales acuáticos, que poseen branquias para respirar, normalmente de sangre fría y nadan gracias a sus aletas. Los podemos encontrar en agua dulce o salada (salobre), en ríos, mares, lagos, océanos y en toda la diversidad de climas.

- **Clase Chondrichthyes:** Son peces que se caracterizan por presentar boca ventral, escamas placoideas, aleta caudal heterocerca, de 5 a 7 pares branquias, carecen de vejiga natatoria y opérculo. Nadan continuamente cerca de la

superficie. Ejemplo: tiburones, rayas, mantarrayas, guitarras, torpedos.

- **Clase Osteichthyes:** Se les llama peces con esqueleto óseo, presentan 4 pares de branquias, un opérculo, boca terminal, escamas cicloideas (principalmente), aleta caudal homocerca, poseen una vejiga natatoria lo que les permite nadar tanto en la superficie como en las profundidades, se les considera peces modernos. Ejemplos: bonito, pejerrey, jurel, anchoveta, trucha, lenguado, atún.

c) **Clase Amphibia**

Animales con piel húmeda y glandular. Respiración por branquias, pulmones, cutánea o por la mucosa de la boca, separadamente o en combinación; y dependiendo de la fase; en los sapos y las ranas hay cuerdas vocales. Poseen vida acuática y vida terrestre mediante un proceso llamado metamorfosis, donde el tipo de respiración puede variar. Presentan fecundación externa o interna y colocan sus huevos en masas gelatinosas ya que sus huevos no poseen una cubierta calcárea. Ejemplo: salamandras, cecilias, sapos, ranas.

d) Clase Reptilia

Son animales pulmonados, ponen huevos con cubierta calcárea resistente a la desecación, como las aves. Poseen escamas duras y secas, de naturaleza córnea que recubren la integridad de sus cuerpos están cubiertos por escamas duras, secas, estas evitan la deshidratación, pero no sirve para la respiración. Los reptiles son poiquilotermos ya que tienen sangre fría, igual que los peces y anfibios. Su temperatura corporal va a variar a diferentes horas del día. Ejemplo: tortugas, lagartos, iguanas, camaleones, culebras, serpientes, caimanes y cocodrilos.

e) Clase Aves

Constituyen una clase especial de animales, ya que son los únicos que poseen plumas y todos son ovíparos. Se les considera descendientes directos de los dinosaurios. No poseen una boca propiamente dicha, sino, un pico saliente con una cubierta córnea, no poseen dientes, ya que no los necesitan ya que su tipo de alimentación consiste principalmente en insectos o granos y semillas. Se han adaptado al vuelo gracias a sus extremidades anteriores convertidas en alas, pero, por otro lado, las extremidades posteriores son patas con características diversas adaptadas para caminar, nadar o fijarse. No todas

vuelan, como los pingüinos, que nadan, o los avestruces que corren. Algunas adaptaciones para el vuelo son los huesos livianos y sacos aéreos conectados a los pulmones. Ejemplo: loro, paloma, águila arpía, canario.

f) Clase Mammalia

El nombre de la clase, mamíferos, hace referencia a las glándulas mamarias de las hembras que suministran leche para alimentar a las crías. Dentro de las principales características están: al ser mamíferos, poseen glándulas mamarias que generan leche, presentan pelos que se encuentran recubriendo sus cuerpos, son poseedores de dientes especializados (incisivos, caninos, premolares y molares) según la dieta que consumen. Son capaces de mantener la temperatura de su cuerpo constante y son llamados homeotermos o de sangre caliente, algo similar a lo que hacen las aves.

La fecundación siempre es interna y generalmente el desarrollo del huevo, de modo que paren crías vivas, que, durante su primera etapa se alimentan de la leche materna.

Fig. 4.18. Clasificación de los mamíferos

Nota: La figura representa a la Clase Mammalia. Tomado de *https://animalandia.educa.madrid.org/imagenes/m/Mammalia_001.jpg*

- **Subclase Prototheria:**

  Monotremas: Mamíferos aplacentados, dotados de pelo y glándulas mamarias, cuyas hembras ponen huevos (ovíparos), presentan una sola apertura que sirve para la reproducción y excreción llamada cloaca, el pene solo conduce espermatozoides. Ejemplo: ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*) y equidna (*Tachyglossus* sp., *Zaglossus* sp.).

- **Subclase Theria:**
  - **Marsupialia:** Mamíferos aplacentados cuyas hembras poseen una bolsa o marsupio donde se desarrollan las crías embrionarias. Ejemplo: canguros, zarigüeya, koala y marmosa.
  - **Eutheria:** Mamíferos cuyas hembras desarrollan placenta, el feto se desarrolla completamente dentro del cuerpo de la hembra, unido por una placenta a las paredes del útero. Ejemplo: roedores, primates, lagomorfos, quirópteros, carnívoros, sirénidos, cetáceos, plantígrados, proboscídeos, artiodáctilos (mamíferos con pezuñas pares), perisodáctilos (pezuñas impares), edentados (armadillos).

4.4 HISTOLOGÍA ANIMAL

La Histología animal es la ciencia que estudia los tejidos animales y es importante por su contenido y además porque relaciona el nivel celular con el macroscópico, proporcionando conocimientos básicos para comprender la Fisiología y la Patología, permite desarrollar y estudiar diversos parámetros relacionados a la Biología, incluyendo la reproducción y conservación de especies silvestres (Tamayo, 2000).

4.4.1 TEJIDO ANIMAL:

Los tejidos animales son un conjunto de células, que cumplen con una función en un organismo y se interrelacionan, conformando la unidad morfofuncional continua, delimitada en mayor o menor grado, las que pueden estar constituidas por un tipo o una combinación específica de células diferentes. Se pueden organizar entre sí para poder formar órganos.

Tamayo y González (2003) nos indican que, si bien los componentes celulares de un mismo tejido pueden diferenciarse por su estructura, funciones y origen, cada tipo de tejido representa una unidad que puede caracterizarse en relación con estos tres criterios (Tamayo y Gonzáles, 2003).

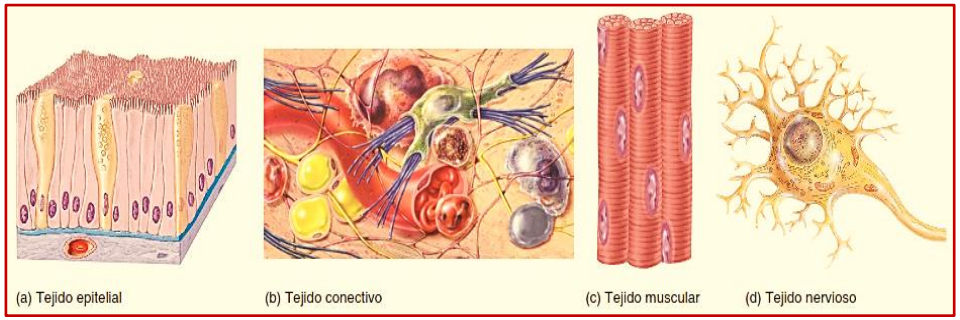
4.4.2 CLASIFICACIÓN:

Los tejidos básicos son cuatro, según su función y estructura.

TEJIDO	FUNCIÓN
Tejido epitelial	Cubre a las superficies del organismo, recubre los órganos huecos, las cavidades y conductos orgánicos, forma las glándulas.

Tejido conectivo	Protege y sostiene al organismo y sus órganos, mantiene unidos a estos, almacena una reserva de energía en forma de grasa y proporciona inmunidad (defensa).
Tejido muscular	Es el responsable del movimiento y de la generación de fuerza.
Tejido nervioso	Inicia y transmite los potenciales de acción (impulsos nerviosos) ayudan a coordinar las actividades del organismo.

Fig. 4.19. Tejidos básicos



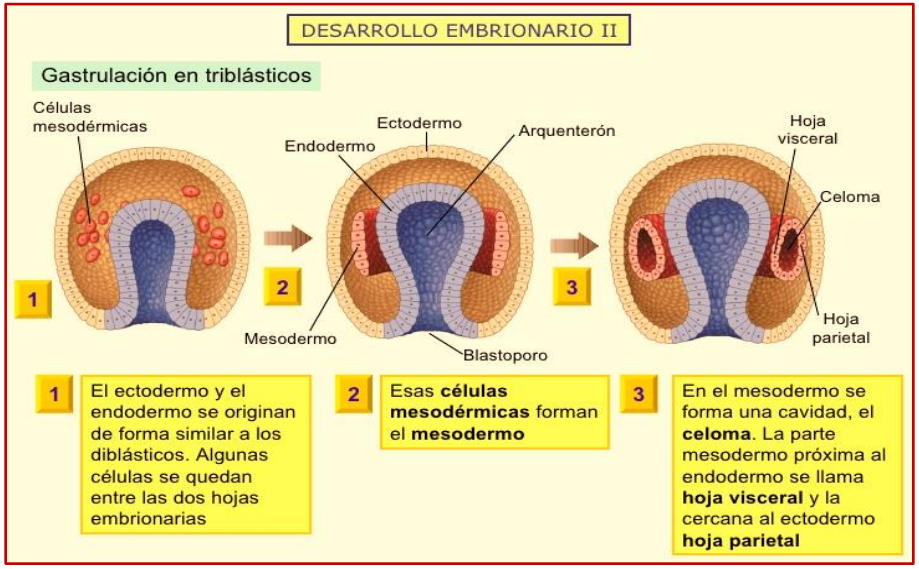
Nota: imagen tomada de Principios de anatomía y fisiología humana (p.114), por Tortora y Derrickson, 2018, Editorial Médica Panamericana

4.4.3 ORIGEN DE LOS TEJIDOS

Podemos mencionar que estos cuatro tejidos básicos, tendrán un origen embrionario, el que comienza en la tercera semana después de la fecundación, a partir de las tres capas embrionarias primarias.

CAPA EMBRIONARIA	TEJIDO
Ectodermo	**Epitelial, Nervioso**
Mesodermo	**Epitelial, Conectivo, Muscular**
Endodermo	**Epitelial**

Fig. 4.20. Capas embrionarias


DESARROLLO EMBRIONARIO II
Gastrulación en triblásticos
Células mesodérmicas
Ectodermo
Endodermo
Arquenterón
Hoja visceral
Celoma
Hoja parietal
Mesodermo
Blastoporo
1
2
3
1 El ectodermo y el endodermo se originan de forma similar a los diblásticos. Algunas células se quedan entre las dos hojas embrionarias
2 Esas células mesodérmicas forman el mesodermo
3 En el mesodermo se forma una cavidad, el celoma. La parte mesodermo próxima al endodermo se llama hoja visceral y la cercana al ectodermo hoja parietal

Nota: imagen adaptada de slideshare (https://es.slideshare.net/Alberkar/la-reproduccin-sexual-en-animales-2008-9)

Potencialidad y diferenciación: Se denomina potencia a la capacidad celular de un tejido para cumplir muchas funciones. La diferenciación es el grado de especialización en determinada función. La diferenciación y la capacidad de regeneración celular son inversamente proporcionales.

Con respecto a la capacidad de regeneración de los tejidos, podemos decir que mientras más especializado sea el tejido, su capacidad regeneradora va disminuyendo.

4.4.4 TEJIDO EPITELIAL

Megías y col. (2020), indican que el tejido epitelial se encuentra constituyendo uno de los cuatro tejidos fundamentales de los animales, conformando el 60% de todas las células del cuerpo.

Es el tejido que se encuentra revistiendo el cuerpo de manera externa, así como internamente las diferentes cavidades y conductos del organismo. También, se encuentra constituyendo las glándulas (Geneser, 1998).

Las células que forman parte del tejido epitelial o epitelio se encuentran dispuestas en láminas continuas, conformando una o varias capas.

4.4.4.1 Origen de los epitelios

Ectodermo: Da origen al tejido que forma la piel (epidermis), retina, epífisis, oído externo e interno, médula suprarrenal, mucosas (oral, nasal, vaginal y anal); neurohipófisis, glándulas lacrimales, sudoríparas y sebáceas.

Mesodermo: Endotelios (cardiaco y vascular), glomérulo nefronal, uréter, pelvis renal, mesotelios (peritoneo, pleuras, pericardio), útero, ovarios, trompas de Falopio, testículos, participa en la formación de las tres partes del oído.

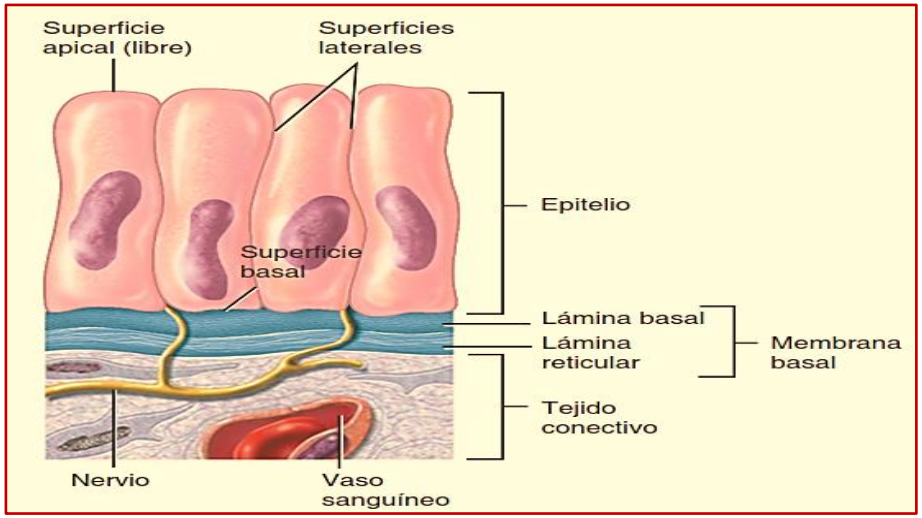
Endodermo: Participa en la formación del epitelio urinario, de la vejiga, próstata, respiratorio y digestivo, así como el del hígado, del oído medio, esófago, adenohipófisis.

4.4.4.2 Características

- Escasa sustancia intercelular.
- Fuerte adhesividad intercelular por uniones celulares.
- Carece de vasos sanguíneos y linfáticos (es avascular).
- Posee borde externo libre, cubierto de glucocálix.

- Descansa sobre la membrana basal (formada por glucoproteínas y fibras reticulares).
- Reproducción celular constante en capa germinal.
- Nutrición por difusión, a partir del tejido conectivo adyacente.
- Terminaciones nerviosas libres de tipo sensitivo y vegetativo.
- Las células adoptan formas geométricas (aplanadas, cúbicas o cilíndricas).

Fig. 4.21. Tejido epitelial

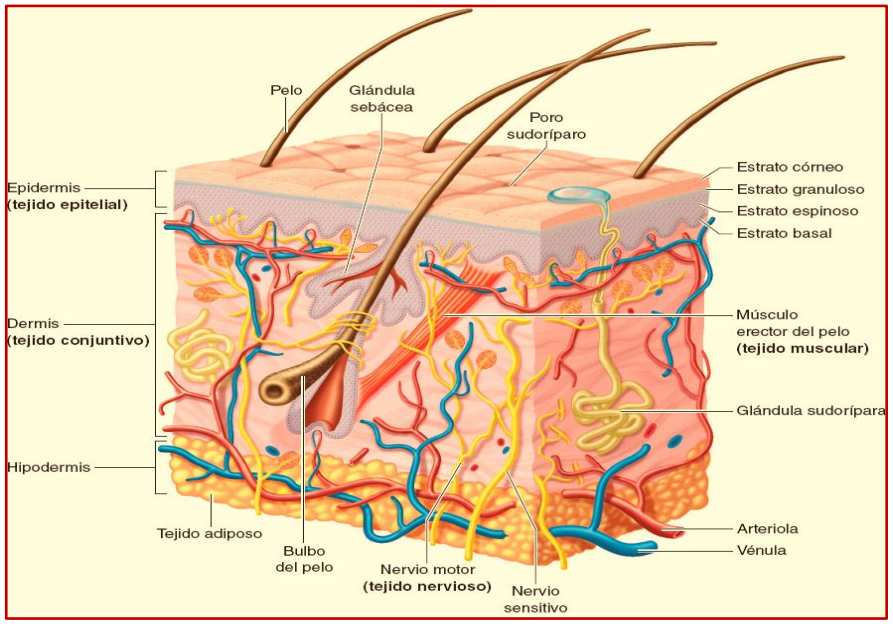


Nota: imagen fue adaptado de tejido epitelial y conectivo, por Antonia Muñoz (https://www.udocz.com/apuntes/450720/tejido-epitelial-y-conectivo-10-08)

4.4.4.3 Funciones

- Protectora: Epitelio de revestimiento y cubierta, que actúa contra lesiones abrasivas o traumáticas.
- Germinativa: En corteza del ovario y en túbulos seminíferos del testículo. Va a madurar células sexuales o gametos.
- Sensorial: Retina, epitelio olfatorio, gustativo y auditivo, para identificar sensaciones.
- Absorción: En el tubo digestivo y en los túbulos renales.
- Secreción: En todas las glándulas (endocrinas y exocrinas) que liberan moco, hormonas, enzimas, etc.
- Lubricante: En mucosas y serosas.
- Difusión: Alvéolos pulmonares y nefrón.

Fig. 4.22. Características del epitelio



Nota: imagen fue tomado de Fisiología humana, www.accessmedicina.com (https://accessmedicina.mhmedical.com/data/books/2163/foxfis14_ch01_fig-01-22.png)

4.4.4.4 Clasificación

4.4.4.4.1 Epitelio de revestimiento y cubierta

Megías y col (2020), refieren que los epitelios de revestimiento se encuentran tapizando las superficies externas de la piel, órganos tubulares, el sistema respiratorio y digestivo, etc. Son clasificados tomando en cuenta el número de capas celulares, la forma de ellas y las características de su borde externo.

a) **Monoestratificado o Simple:** Posee una sola capa de células, se ubican en zonas de intercambio de sustancias. Son llamados también escamosos o pavimentosos. Se dividen en:

- **Simple plano:** Los encontramos en epitelios renales como, nefrón (cápsula de Bowman, rama delgada del asa de Henle), en los alvéolos pulmonares, en endotelios, mesotelios, endocardio, córnea y oído medio.
- **Simple cúbico:** Puede ser sin modificaciones como el caso de plexos coroideos (elaboran líquido cefalorraquídeo), retina, cristalino ovarios, folículos tiroideos, o modificado, cuando presenta microvellosidades, como en el nefrón (túbulo contorneado proximal con borde en cepillo).
- **Simple cilíndrico:** Es llamado también epitelio columnar, posee una sola capa de células cilíndricas. Se divide en tres grupos:

- **Cilíndrico simple:** Se halla en el estómago, intestino grueso, útero, endocérvix y en los conductos excretores de las glándulas exocrinas.
- **Cilíndrico modificado con cilios (ciliado):** Se ubica en las vías respiratorias inferiores y en las trompas de Falopio.
- **Cilíndrico modificado con microvellosidades (chapa estriada):** Presenta microvellosidades y se encuentra asociado a células caliciformes que son productoras de moco. Se halla en el intestino delgado, vesícula biliar.

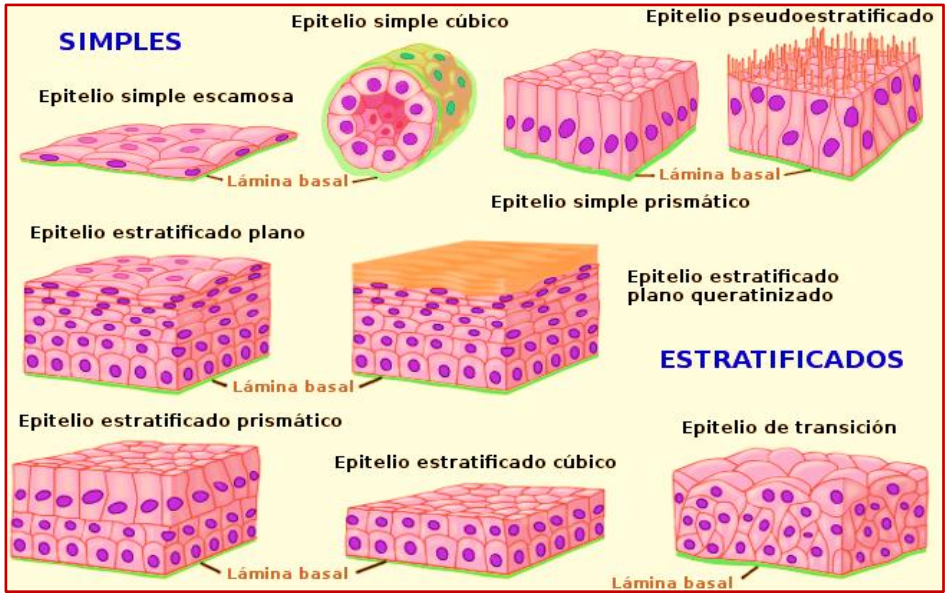
b) **Poliestratificados (estratificados):** están formados por varias capas de células. Son epitelios resistentes a la fricción. Para clasificarlos se toma en cuenta la capa más superficial, y son:

- **Estratificado plano:** Se observan múltiples capas de células, las que se encuentran más profundas son cilíndricas, las intermedias cubicas y las que se encuentran más arriba, planas. Se clasifican en:
  - **No queratinizado:** Superficie húmeda. Podemos encontralo en las cavidades internas como boca, esófago e hipofaringe (Tubo digestivo superior), También en el epitelio anterior encontrado en la vagina, lengua y córnea.
  - **Queratinizado:** Son impermeables, poseen queratina (conformada por lipoproteína. y células muertas). Se halla en la epidermis.
- **Estratificado cúbico:** Se halla a nivel embrionario y en el esófago fetal.
- **Estratificado cilíndrico:** Se halla en las glándulas exocrinas, conjuntiva ocular y en la uretra masculina.

c) **Epitelio de transición o polimorfo:** Es un epitelio que cambia de forma según. la función que realiza; son impermeables. Se hallan en cálices renales, uréteres, vejiga urinaria y uretra femenina.

d) **Pseudoestratificado:** Aparenta varias capas celulares, pero en realidad es una sola. Los que tienen cilios se hallan en las vías respiratorias. Los no ciliados se hallan en la vesícula seminal y los que poseen estereocilios se hallan en el epidídimo y en conductos deferentes.

Fig. 4.23. Epitelio monoestratificado



Nota: la imagen fue tomado y adaptado de webcindario, (*https://biojaga02.webcindario.com/epi.png)*

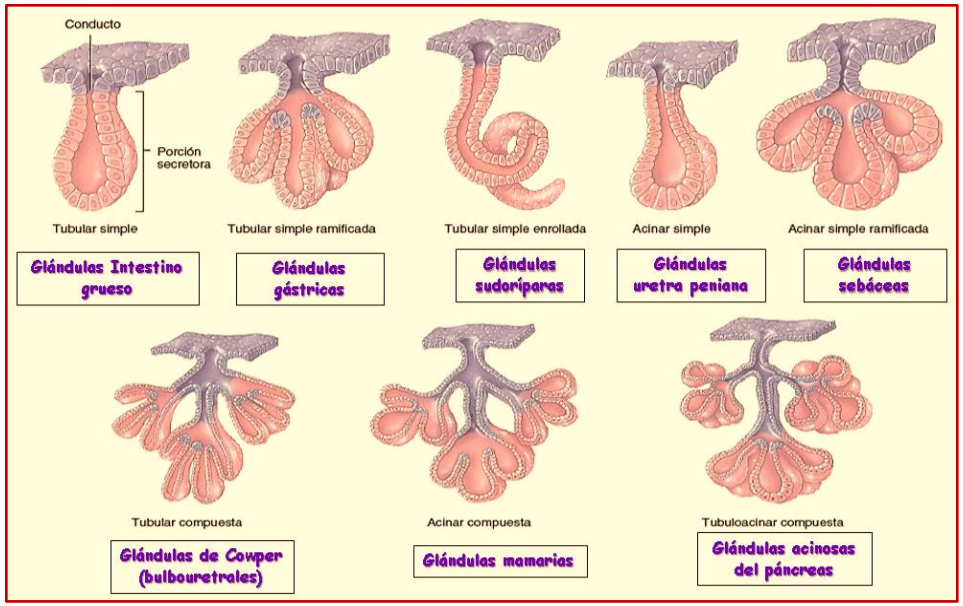
4.4.4.4.2 Epitelio glandular

Elaboran sustancias que serán liberadas a la sangre o a un medio externo. Las glándulas, se clasifican en:

a) Glándulas exocrinas:

Son glándulas que poseen una parte secretora o también llamada adenómero, que vierte la secreción formada aun conducto excretor. Según el tipo de adenómero, pueden ser acinares o alveolares, tubulares y mixtas:

Fig. 4.24. Glándulas según el adenómero



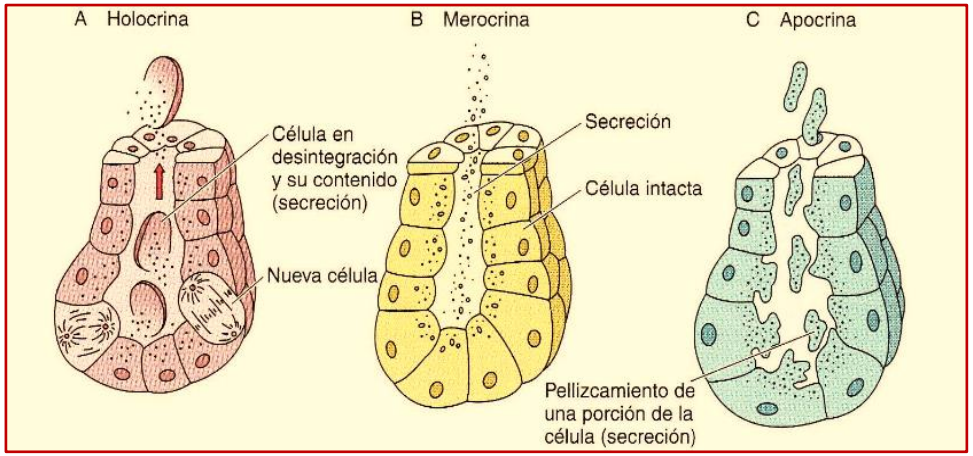
Nota: imagen fue tomado y adaptado de Principios de anatomía y fisiología humana (p.127), por Tortora y Derrickson, 2018, Editorial Médica Panamericana

De acuerdo con su secreción, se dividen en:

- **Holocrinas:** Al elaborar su producto, las células mueren. Ejemplo: glándulas sebáceas.

- **Apocrinas:** Al elaborar su producto las células eliminan la región apical del citoplasma. Ejemplo: glándulas mamarias y las ceruminales.
- **Merocrinas:** Al elaborar su producto, las células no consumen su citoplasma. Ejemplo: glándulas sudoríparas, salivales y lacrimales.

Fig. 4.25. Glándulas exocrinas



Nota: la imagen fue tomado de web (https://es-static.zdn.net/files/d96/5fe91aeb628ac6878ab58a71e090488c.jpg)

b) Glándulas endocrinas:

No presentan conducto excretor. Secretan sustancias llamadas hormonas y se denominan endocrinas porque vierten las hormonas hacia el torrente sanguineo. Ejemplo: hipotálamo, hipófisis, tiroides, paratiroides, suprarrenales, etc.

c) Glándulas mixtas:

Poseen las dos características anteriores. Ejemplo: páncreas, riñón, testículos, ovario, etc.

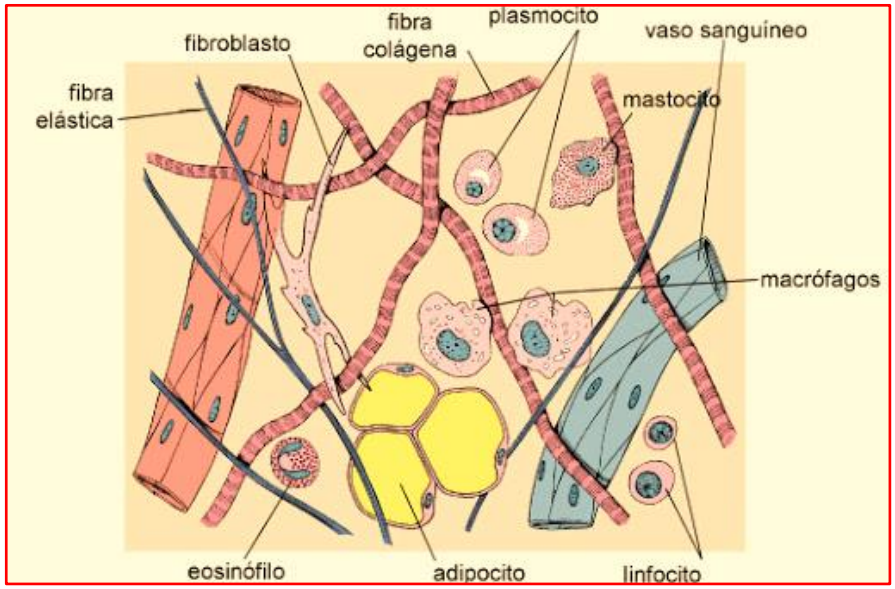
GLÁNDULA MIXTA	PRODUCTO EXOCRINO	PRODUCTO ENDOCRINO
Páncreas	Jugo pancreático	Glucagón, Insulina somatostatina
Hígado	Bilis	Somatomedina C
Riñones	Orina	Eritropoyetina
Testículos	Espermatozoides	Testosterona
Ovarios	Ovocito secundario	Estrógeno, progesterona

4.4.5 TEJIDO CONECTIVO

Megías y col. (2020), indican que es de origen mesodérmico y que se denomina también tejido conjuntivo, constituyendo el principal constituyente del organismo. Presenta células poco

diferenciadas. Este tejido se encuentra distribuido en todo el organismo, convirtiéndose en el más abundante.

Fig. 4.26. Células del tejido conectivo



Nota: la imagen fue tomado de Facultad efn, Universidad Nacional de Córdoba (http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/divbioeco/anatocom/Biologia/Los%20Tejidos/propiamentedicho.htm)

4.4.5.1 Características

- Posee abundante sustancia intercelular y fibras conectivas.
- Posee vasos sanguíneos y linfáticos.
- Sus células son de forma irregular.
- Las células de este tejido tienen un alto poder de regeneración.
- Posee terminaciones nerviosas.

4.4.5.2 Funciones

- Soporte: Mantienen a los órganos en su posición correcta. Actúan como envolturas de los músculos y de vasos sanguíneos.
- Nutrición: Mediante el intercambio de nutrientes y metabolitos con la sustancia intercelular.
- Almacenamiento: Realizado por el tejido adiposo, que almacena material energético.
- Protección: Mediante células especializadas (macrófagos, plasmocitos y leucocitos) en la defensa contra microorganismos y cicatrización tras una lesión.

4.4.5.3 Componentes

a) Células

- **Fibroblastos:** Son los más abundantes e importantes, tienen forma alargada con un núcleo ovoide. Se

encargan de producir y secretar la sustancia amorfa, así como de producir a las fibras conjuntivales, participan en la reparación de tejidos y en la cicatrización (fibrocitos).

- **Macrófagos:** Se desarrollan a partir de los monocitos, que es un tipo de leucocito. Presenta movimiento muy activo, poseen un núcleo ovoide a manera de un riñón, que suele estar indentado en un lado. Tienen como función la fagocitosis de detritus celular, por lo que poseen abundantes lisosomas, así como también, la protección del cuerpo contra los invasores extraños. Se reúnen y forman una célula gigante alrededor del cuerpo extraño. Se dividen en:
  - **Libres:** Son tisulares, se hallan en el tejido conectivo laxo.
  - **Fijos:** Son llamados también histiocitos, se hallan en el SFM (Sistema de Fagocitos Mononucleados) del hígado (células de Küpffer), bazo (pulpa roja, células dendríticas), piel (células de Langerhans), pulmones (células del polvo), médula ósea roja (células reticulares), tejido óseo (osteoclastos), tejido nervioso (microglia), riñones (células mesangiales), placenta (células de Hofbauer), etc.
- **Plasmática (plasmocitos):** son de forma ovoidal y su núcleo semeja una rueda de carreta (debido a la proyección en rayos de la heterocromatina). Se origina a partir de los linfocitos - B vírgenes, que migran a los tejidos hallándose en el tubo digestivo y en zonas de inflamación crónica. Su función es la de fabricar y secretar anticuerpos.
- **Adiposas:** Son de forma redondeada; poseen un citoplasma “invadido” por una gran gota de grasa, que desplaza el núcleo a la periferia. Los adipocitos no experimentan división celular. Tienen como función la síntesis y almacenamiento de grasa.
- **Cebadas (mastocito):** son células móviles con un citoplasma granuloso, se les halla en los vasos sanguíneos. Sintetiza, entre otras sustancias, a la Histamina (provoca reacciones alérgicas), y a la Heparina (es un anticoagulante).

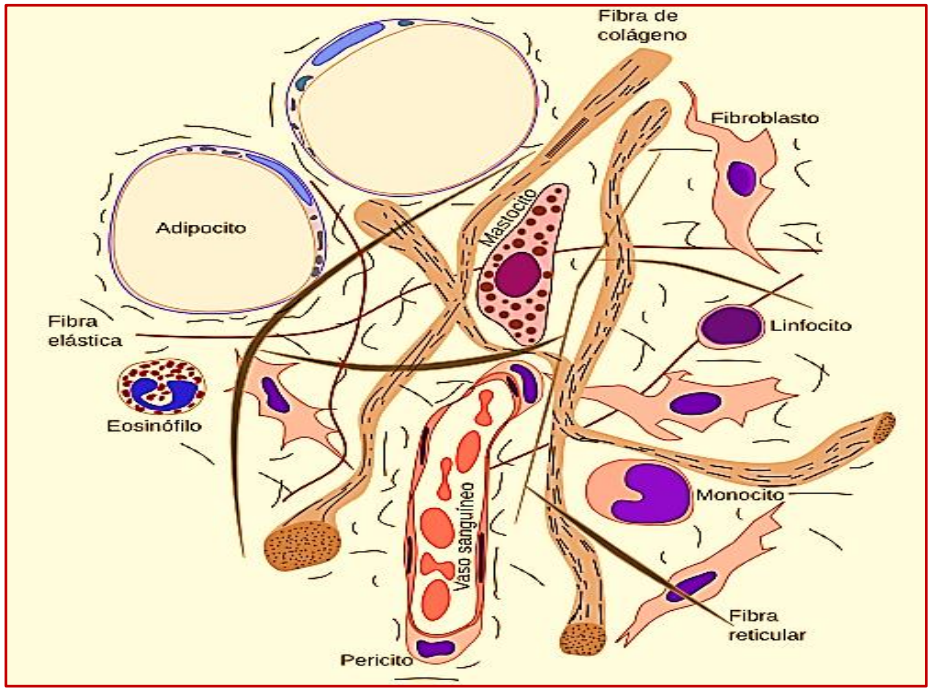
- **Mesenquimales (Stem cell o células madre):** Son células que conservan la potencialidad de las células del embrión (Stem cell) y pueden dar origen a cualquiera de los tipos celulares del tejido.

b) Sustancia intercelular

Está conformada por macromoléculas, las que son producidas y secretadas por las células hacia el espacio intercelular. Está conformada por sustancia amorfa, capaz de resistir a las fuerzas de compresión y las fibras que soportan las fuerzas de tensión o tracción.

- **Sustancia amorfa:** Es incolora, transparente y viscosa. Está conformada por glucosaminoglucanos, proteoglucanos y glucoproteínas de adhesión.
  - **Glucosaminoglucanos:** Son polisacáridos largos no flexibles y sin ramificaciones. Se componen de dos tipos de unidades: un amino-azúcar (N - acetilglucosamina) y el ácido urónico. Retienen Na^+ y agua.
  - **Proteoglucanos:** Son los glucosaminoglucanos (GAG) sulfatados que forman enlaces covalentes con un centro proteico. Resistente a la compresión y es capaz de enlentecer el movimiento rápido de microorganismos y células metastásicas (cancerígenas).
  - **Glucoproteínas de adhesión:** Son grandes macromoléculas, permiten a las células adherirse a los componentes de la matriz intracelular.
- **Sustancia forme o Fibras conjuntivas:** es la porción firme y está conformada por:
  - **Colágenas:** Son abundantes, gruesas y de color blanco y resistentes a la tracción y tensión. Se originan a partir del tropocolágeno. En ebullición, forman gelatina.
  - **Elásticas:** Son de color amarillo, ramificadas, delgadas y flexibles; están formadas por la proteína elastina.
  - **Reticulares**: Son muy delgadas, se disponen en redes, sirven como base para glándulas, vasos sanguíneos, fibras musculares, nervios, células adiposas, pulmón, etc. Están conformados por fibras colágenas delgadas en forma de red.

Fig. 4.27. Tipos de fibras conjuntivas



Nota: la imagen fue tomado de Atlas de histología vegetal y animal, uvigo (https://mmegias.webs.uvigo.es/a-iconos/conectivo-celulas-tipos.png)

4.4.5.4 Clasificación

4.4.5.4.1 Tejido conectivo no especializado

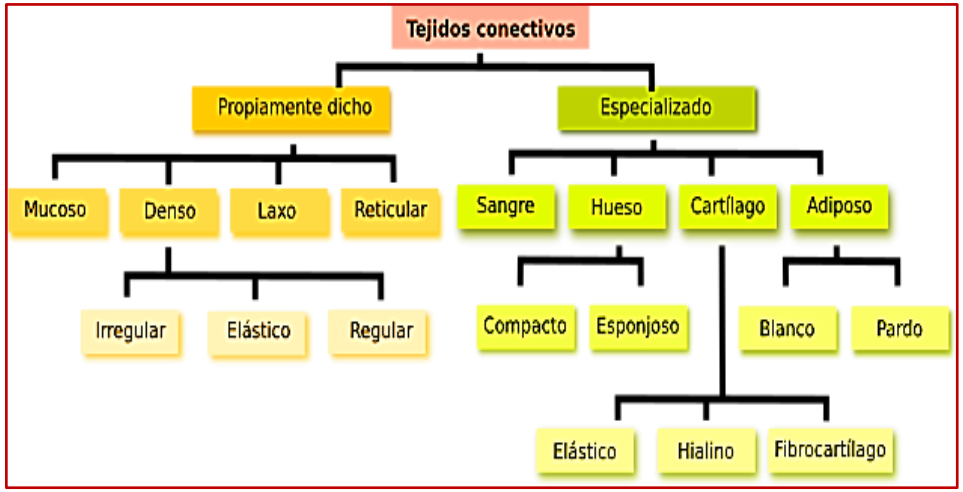
El tejido conectivo o tejido conjuntivo, es el tejido que establece conexión con los otros tejidos y sirve de soporte a diferentes estructuras del cuerpo; es un tejido rico en fibras y de abundante sustancia intercelular.

a) Características:

- Derivan de la mesénquima que es el tejido conectivo primario. Origina además a los tejidos musculares y a los vasos sanguíneos.
- La célula mesenquimática tiene potencial para transformarse en todas las células que son características de los tejidos derivados de él.
- Abundante matriz extracelular.
- Cumplen una función primaria de sostén.
- La conformación general del organismo depende fundamentalmente del tejido óseo y conectivo propiamente tal, además del tejido muscular.

- En este tejido predomina la sustancia intercelular sobre el número de células.
- La sustancia intercelular está conformada por fibras, presenta una consistencia fluida y blanda.
- Posee vasos sanguineos.
- No cubre o reviste superficies.
- Está ampliamente distribuido en el cuerpo, tanto en el feto como en el adulto.

Fig. 4.28. Clasificación de los tejidos conectivos



Nota: la imagen fue tomado de Atlas de histología vegetal y animal, uvigo (https://mmegias.webs.uvigo.es/a-iconos/conectivo-esquema.png)

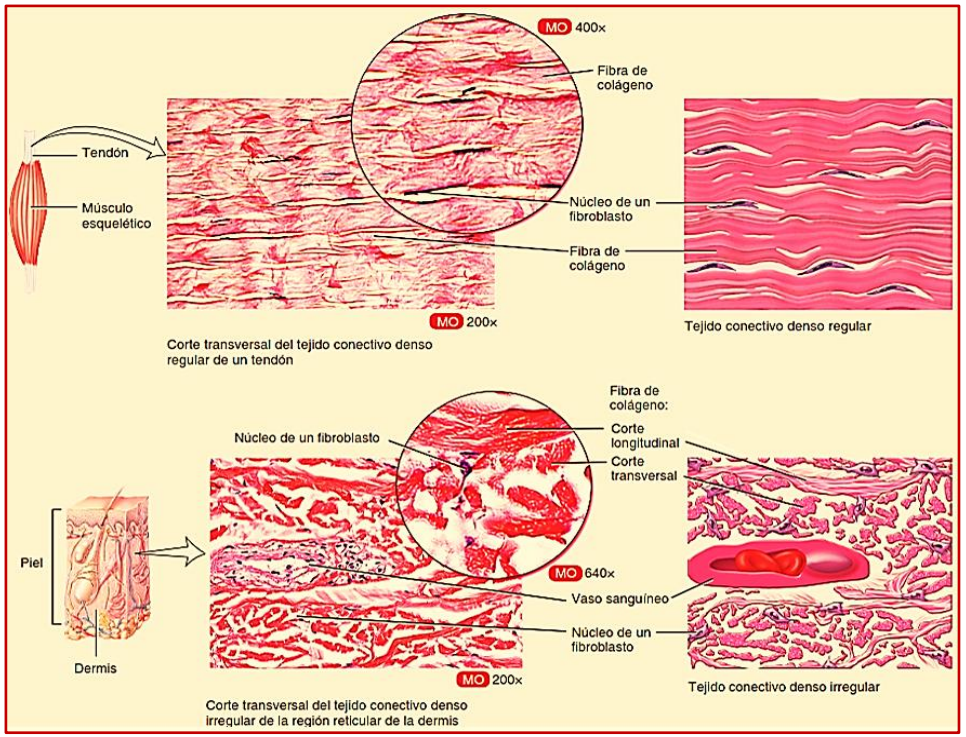
b) Clasificación:

- **Laxo:** Es el más abundante de todos los tejidos conectivos, teniendo como principal característica no poseer una organización estructurada sino, que sus células se encuentran inmersas en una matriz extracelular abundante (Megías y col. 2020). Las fibras colágenas se encuentran formando una estructura laxa asemejando a una malla. Se clasifican en:

- **Mucoso:** Es llamado también embrionario, posee abundantes fibroblastos y sustancia amorfa (ácido hialurónico); pero escasas fibras colágenas. Es gelatinosa. Se halla en la gelatina de Wharton del cordón umbilical y en el tejido conectivo subdérmico del embrión.
- **Areolar:** Está conformado por todas las células del tejido conjuntivo especialmente fibroblastos y macrófagos, también posee fibras colágenas. Se localiza en los rellenos de órganos.
- **Elástico:** Como su nombre lo indica posee abundantes fibras elásticas y fibroblastos. Está presente en vasos sanguíneos.

- **Denso:** Posee abundantes fibras colágenas, pero escasa sustancia amorfa, células y vascularización. Son muy resistentes a la tracción. Se divide en dos:
  - **Regular o modelado (tendinoso):** Esta conformado por una gran cantidad de fibras de colágeno, sus haces fibrosos se disponen paralelos entre sí. Se halla en tendones, ligamentos, aponeurosis, vainas o fascias que rodean los músculos.
  - **Irregular o no modelado (compacto):** Conformado por colágeno, cuyos haces se disponen en distintas direcciones (irregulares), a manera de redes. Se localiza en la dermis profunda, estromas, periostio, pericondrio, cápsula de órganos (testículo, hígado), submucosa del tubo intestinal y cápsulas articulares.

Fig. 4.29. Tejido denso regular e irregular



Nota: imagen tomada de Principios de anatomía y fisiología humana (p.128), por Tortora y Derrickson, 2018, Editorial Médica Panamericana

4.4.5.4.2 Tejido conectivo especializado

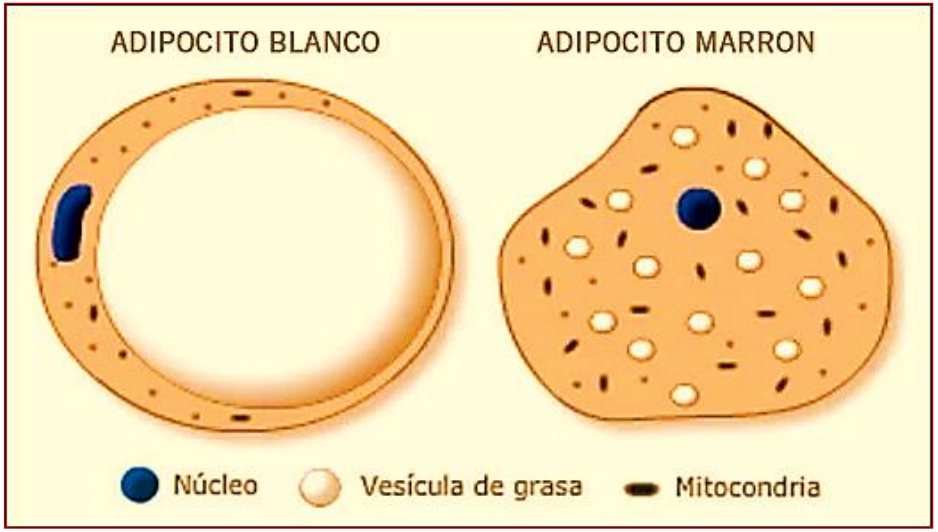
a) Tejido adiposo

Está constituido por unas células especiales llamadas adiposas (adipocitos), son capaces de captar para su almacenamiento triglicéridos y pueden sintetizar lípidos. Se clasifican en 2, de acuerdo al tipo de células que lo conforman (Garner y Hiatt, 2011):

- **Adiposo amarillo (adiposo blanco o unilocular):** Se encuentra muy bien distribuido, formado por adipocitos uniloculares, cuya característica es que poseen una sola gotícula de lípido, que ocupa la mayor parte de la célula. Es el más abundante y es vascularizado, se ubica en las capas subcutáneas de todo el cuerpo. Tiene como función la reserva de energía, termoaislante, moldeo del cuerpo relleno de espacios, y mecánica amortiguadora ya que sirve como almohadilla (Megías y col 2020).
- **Adiposo pardo (adiposo multilocular):** Formado por adipocitos multiloculares, que tienen forma poligonal y un tamaño menor al de los adipocitos uniloculares, posee numerosas gotículas con lípidos dispersos en su citoplasma,

además de abundantes mitocondrias, las cuales poseen grandes cantidades de citocromo oxidasa, las que le confieren el color oscuro de donde proviene el nombre del tejido (pardo). Este tejido tiene riego sanguíneo semejante a los de una glándula. Se halla principalmente en animales hibernantes y en el feto y recién nacido, a nivel del cuello y en la región interescapular, abdomen, tórax y lomo. En el feto, la protección es ante el frío excesivo (Megías y col 2020).

Fig. 4.30. Células del tejido adiposo amarillo y pardo



Nota: la imagen fue adaptado de Chegg, (https://www.chegg.com/flashcards/tejido-adiposo-51d7bac6-0f30-442b-a3d9-9325093a387b/deck)

b) Tejido óseo

El tejido óseo es una variedad de tejido conectivo altamente especializado, es un tejido vivo complejo y dinámico que experimenta un proceso continuo, llamado remodelación (formación de tejido óseo nuevo y destrucción simultánea del hueso precedente). Existen dos tipos básicos de tejido óseo (o huesos): el hueso compacto es denso y tiene un aspecto más suave y homogéneo. El hueso esponjoso consta de pequeñas partes de hueso con forma de alfiler y muchos espacios abiertos (Marieb, 2008).

Es una variedad de tejido conectivo, altamente especializado; es uno de los tejidos más rígidos del cuerpo; posee resistencia a la flexión, torsión y presión.

- **Funciones**
  - Su principal función es dar soporte a tejidos blandos y proteger a los órganos internos.
  - Palanca en la locomoción (siendo su elemento pasivo).

- Al estar conformado principalmente de calcio y fosforo. Se considera un almacén metabólico de estas sales minerales.
- Contiene a la médula amarilla y roja, esta última origina a los elementos formes de la sangre (glóbulos rojos, blancos, y plaquetas).

- **Características**
  - Presenta vasos sanguíneos (la irrigación es de 200 a 400 ml de sangre por minuto).
  - Por ser un tejido rígido no posee muchas células.
  - Se le considera un tejido muy dinámico, ya que constantemente se está formando y destruyendo, siendo controlado por factores hormonales y físicos
  - Su crecimiento se da por superposición de placas, lo que se conoce como aposición.
  - El periostio lo está rodeando y el endostio lo reviste.
  - En la sustancia intercelular se encuentran los canalículos óseos que permiten la difusión de sustancias nutritivas.
  - Se considera uno de los tejidos más resistentes y rígidos del organismo, esto gracias a los componentes de la sustancia intercelular (matriz ósea), lo hacen uno de los.

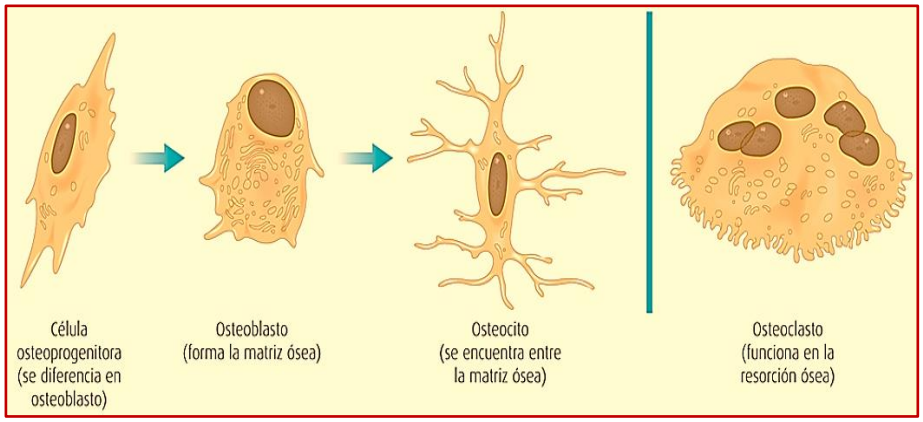
- **Componentes**

  Células

  - Célula osteoprogenitora: Da origen a los osteoblastos, es una célula mesenquimatosa.
  - Osteoblastos: Son las responsables de la osteogénesis, son células jóvenes, que se encargan de elaborar la sustancia intercelular. Sintetiza fosfatasa alcalina. Se transforma en osteocito.
  - Osteocitos: Células maduras y representativas del tejido óseo. Se hallan en una cavidad llamada osteoplasto u osteocele, posee prolongaciones citoplasmáticas que se encuentran en los canaliculos óseos cuya función es comunicar dos osteocitos vecinos para el intercambio de nutrientes. Almacenan sales minerales.
  - Osteoclastos: Células que pertenecen al Sistema Retículo Endotelial (RES), son gigantes, multinucleadas y se ubican en una cavidad llamada Laguna de Howship.

Los osteoclastos resultan de la unión de varios macrófagos. Realizan la resorción ósea (remodelación de la matriz ósea) ya que sintetizan fosfatasa ácida.

Fig. 4.31. Células del tejido óseo


Célula osteoprogenitora (se diferencia en osteoblasto)
Osteoblasto (forma la matriz ósea)
Osteocito (se encuentra entre la matriz ósea)
Osteoclasto (funciona en la resorción ósea)

Nota: la imagen fue tomado de Atlas de histología (https://www.educa2.madrid.org/web/argos/inicio/-/book/atlas-de-histologia15?_book_viewer_WAR_cms_tools_chapterIndex=0eef2ace-190d-4cf5-8040-9dc54e049b40)

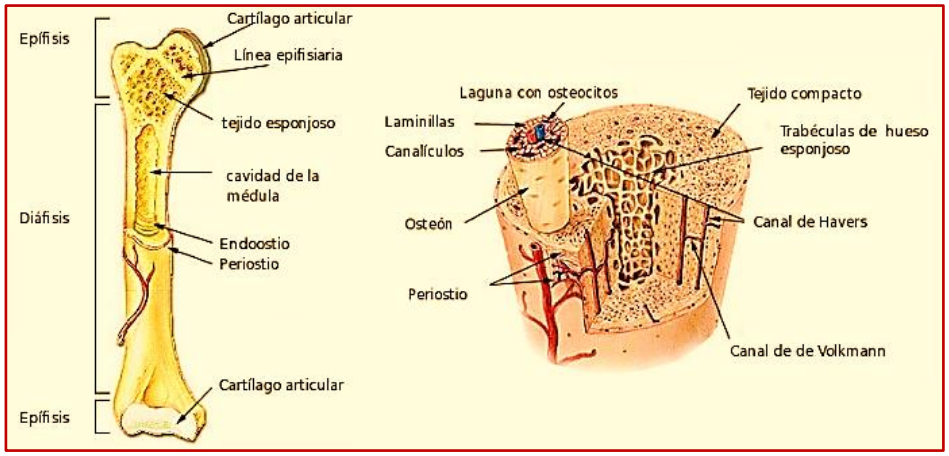
Sustancia intercelular. Llamada también matriz ósea. Se divide en dos porciones:

- Sustancia amorfa: Constituyen el 5% de la matriz; presenta dos componentes:

Porción orgánica	Porción inorgánica
Constituye el 30%. Es producida por los osteoblastos y está constituida por ácido condroitinsulfúrico, proteoglicanos y glucoproteínas. A la porción orgánica, también se le llama Oseína; la cual antes de calcificarse se llama sustancia osteoide.	Constituye el 70%. Está formada por sales inorgánicas, como fosfato de calcio (85%) o hidroxiapatita: $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, carbonato de calcio (10%) y otras sales (1%).

- Fibras: Están conformadas por fibras de colágeno, constituyendo el 95% de la matriz.

Fig, 4.32. Componentes de tejido Óseo



Nota: la imagen fue tomado de Blendspace (https://4.bp.blogspot.com/-6yBBRhK4mS4/XMYXSf_fVhI/AAAAAAAAADU/ZB0VZlApz1g1ItN3ZK2eKe3oPZRqv_8KACLcBGAs/s1600/t%2Boseo.jpg)

- **Membranas**
  - Periostio: Revestimiento externo del hueso. Está formada por tejido conectivo denso irregular (periostio fibroso) y por fibras colágenas, fibroblastos y células mesenquimales (periostio osteógeno), éste último permite el crecimiento del hueso en grosor y la reparación de fracturas.
  - Endostio: Revestimiento interno del hueso a nivel del canal medular, conductos de Havers, conductos de Volkman y trabéculas óseas.

- **Clasificación**

Tejido óseo esponjoso (TOE)	**Tejido óseo compacto (TOC)**
Formado por las “trabéculas” que son una red tridimensional de proyecciones óseas interconectadas y son consideradas las unidades anatómicas del TOE. En el interior de las trabéculas se localiza la médula ósea roja (MOR). Podemos observarla en huesos cortos, planos y en la epífisis de huesos largos.	Formado por el Sistema de Havers u osteonas que son unidades estructurales. Están organizados en cilindros de huesos (laminillas óseas de manera concéntrica) alrededor de un vaso sanguíneo. Se localiza en la diáfisis de huesos largos y en las tablas de huesos planos.

c) Tejido cartilaginoso

Corresponde a un tejido de superficie elástica y lisa, de consistencia sólida semirrígida. Junto con el tejido óseo determinan el soporte, está formando las cavidades articulares (Megías y col 2020).

- **Características**
  - No posee vasos sanguíneos ni linfáticos.
  - Su nutrición se da por difusión.
  - El pericondrio, que es una vaina que lo recubre, posee una capa externa fibrosa y una interna condrógena.
  - También está conformado por un número escaso de células.
  - Posee abundante sustancia intercelular.
  - No posee conexiones nerviosas.
  - Su crecimiento ocurre en tres formas:
    - Metaplásico: Se da en la vida embrionaria y fetal, a partir de las células mesenquimales.
    - Intersticial: Ocurre por aumento de los condrocitos formados.
    - Aposicional: Se da por la transformación de los condroblastos a condrocitos.

- **Componentes**

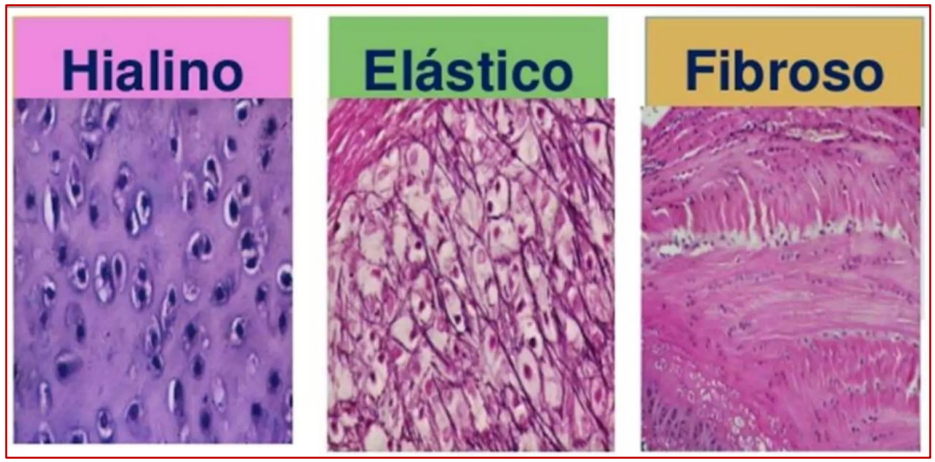
  Células

  - Condroblastos: son células jóvenes, se reproducen y elaboran la matriz cartilaginosa.
  - Condrocitos: son células maduras, no se reproducen y no forman la matriz cartilaginosa. Se hallan en cavidades llamadas condroceles o lagunas. En grupos de 2 o 3 forman el grupo isógeno o nido celular.

  Sustancia Intercelular

  - Sustancia amorfa: El principal constituyente es el ácido condroitinsulfúrico, aunque, también contiene proteínas y proteoglucanos.
  - Fibras: Existen las fibras colágenas y elásticas.

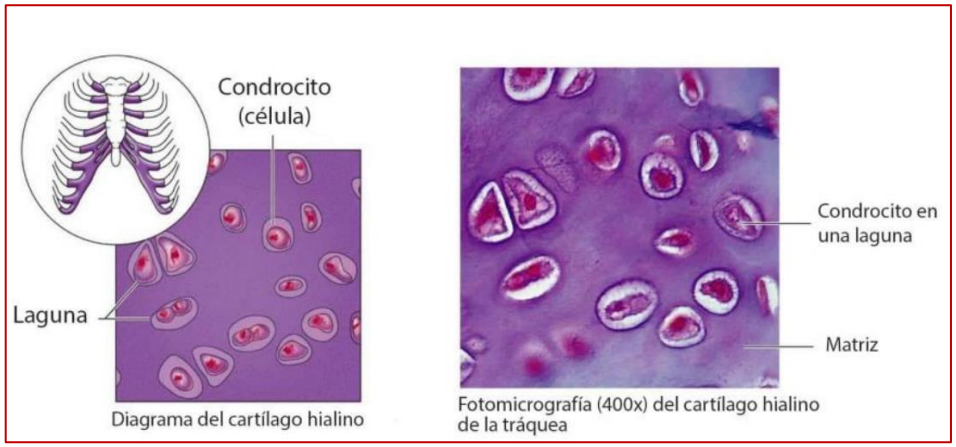
Fig. 4.33. Tipos de Cartílago



Tomado de https://www.facebook.com/photo.php?fbid=123741632622143&id=111976280465345&set=a.114474550215518

- **Clasificación**
  - **Cartílago hialino:** Corresponde al más abundante, posee mayor cantidad de células, presenta ambos tipos de fibras. Es de color blanco azulado y translúcido. Esta formando el primer esqueleto embrionario, tabique nasal, laringe (tiroideo, cricoides, y parte inferior del aritenóideo), tráquea, bronquios, cartílagos costales y cartílagos articulares.

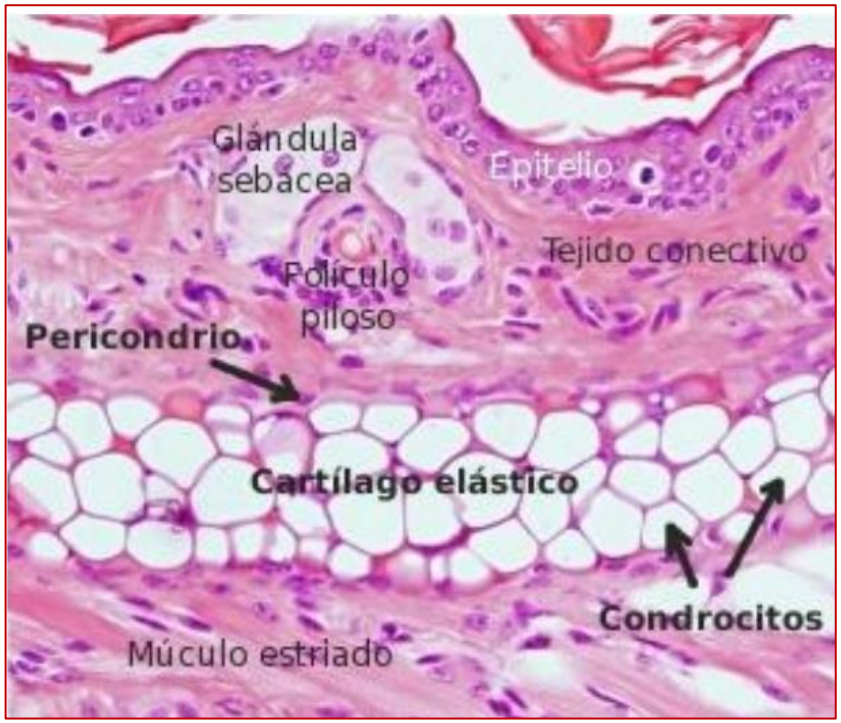
Fig. 4.34. Cartílago Hialino



Tomado de https://curiosoando.com/funciones-del-cartilago-hialino

  - **Cartílago elástico:** Constituido por gran cantidad de fibras elásticas. Podemos encontrarlo en cartílagos de laringe (epiglotis, cuneiformes, parte superior del aritenoideo), pabellón de la oreja, conducto auditivo externo, trompa de Eustaquio (oído medio). Es de color amarillo.

Fig. 4.35. Cartílago Elástico



Tomado de https://es.slideshare.net/slideshow/tejido-cartilaginoso-25536003/25536003#google_vignette

- **Cartílago fibroso:** Está constituido por abundantes fibras colágenas, las que se encuentran ordenadas longitudinalmente (paralelas) y por los condrocitos que se ubican en hileras. No tienen pericondrio. Los podemos encontrar formando parte de los discos intervertebrales, sínfisis del pubis, meniscos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ceolin, G. (2023). *Sistemática e taxonomía vegetal*. Editorial da UFSM en colaboración con PROGRAD.
2. Des Abbayes, H., Chadefaut, M., Feldmann, J., De Ferré, Y., Gaussen, H., Grassé, P., & Prévot, R. (2021). *[Título no especificado]*. Editorial Masson Editeur.
3. Escaso, S., et al. (2010). *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal*. Pearson Educación, S. A.
4. Gartner, L. P., & Hiatt, J. L. (2011). *Histología, texto y atlas*. McGraw-Hill Interamericana.
5. Izco, J. (1997). *Botánica* (2ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
6. Lender, T., Delavault, R., & Le Moigne, A. (1982). *Dictionnaire de Biologie*. Grijalbo.
7. Marieb, E. (2008). *Anatomía y fisiología humana* (9ª ed.).
8. Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2020). *Atlas de histología vegetal y animal*. Editorial Universidad de Vigo.

9. Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de ecología* (5ª ed.).

10. Ram, B. (2016). *Botánica: Generalidades, morfología y anatomía de plantas superiores*.

11. Storer, T., Usinger, R., Stebbins, R., & Nybakken, R. (2003). *General zoology*. *OMEGA*, 35(6). https://doi.org/10.2307/4444447

12. Woese, C. R., Kandler, O., & Wheelis, M. L. (1990). Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 87*(12), 4576–4579.

13. Tamayo, & González. (2003). *Algunas dificultades en la enseñanza de la histología animal*. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 2*(2), 177-200.

14. Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

15.

16. Vásquez, R. (2020). *Biología: ciencia de la vida* (2ª ed.). Grupo Editorial Patria.

TEMA 5: SISTEMA DIGESTIVO Y EXCRETOR

En este tema estudiaremos dos sistemas fundamentales: Digestivo y Excretor. El primero se encarga de los procesos de digestión y absorción de moléculas esenciales, mientras que la excreción es una función de los seres vivos que consiste en liberar los desechos producidos durante el metabolismo, incluyendo el exceso de agua.

5 SISTEMA DIGESTIVO Y EXCRETOR

5.1 SISTEMA DIGESTIVO ANIMAL: VERTEBRADOS

Los animales vertebrados tienen un sistema digestivo organizado en las siguientes estructuras: boca, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso, recto y ano. Sin embargo, en los vertebrados más primitivos como los peces, el esófago posee longitud corta pero presente en todos los gnatostomados, o algunos peces no presentan estómago y otros como los ciclóstomos (lampreas y mixinos) tienen un tubo digestivo continuo con una boca dotada de potentes ventosas para sujetarse a las presas y dientes córneos para perforarlas (ver Fig. 5.1).

El patrón básico que se ha definido con anterioridad sufre constantes variaciones dentro de los vertebrados, lo cual les permite una adaptación a los diferentes hábitos de alimentación.

Fig. 5.1. Boca circular de una lamprea

Nota: la imagen fue tomada y adaptada de h*ttps://quo.eldiario.es/naturaleza/a15777/la-boca-de-la-lamprea/*

La cavidad bucal de animales vertebrados presenta las siguientes regiones:

Labios, aunque la excepción la encontramos en tortugas, aves y monotremas, los cuales poseen pico.

Paladar, en algunos casos (crosopterigios y todos los tetrápodos) poseen coanas (orificios de comunicación de las fosas nasales con la nasofaringe).

Paladar secundario, presente en reptiles y mamíferos.

Lengua, aparece como una novedad evolutiva en los cordados. Sirve para el manejo de alimentos y el lenguaje articulado en el caso del ser humano.

Glándulas salivales, en general son características de los tetrápodos, no aparecen en peces.

Enzimas bucales, son secreciones exclusivas de mamíferos, algunas aves y anfibios.

Dientes. Dentro de los vertebrados, las lampreas, los tiburones, los peces teleósteos, los anfibios y los reptiles poseen dientes sobre las mandíbulas o el paladar, de un único tipo, es decir, poseen dientes que no están diferenciados. Una excepción son las serpientes venenosas, que poseen dientes modificados adaptados a la inyección de veneno, los colmillos.

La verdadera diferenciación de tipos dentales se produce en los mamíferos, en donde existe una elevada especialización de la dentadura según el tipo de alimento ingerido en la dieta como se muestra en la siguiente tabla.

Organismos según su dieta	Tipo de dientes
Carnívoros	Caninos afilados y muelas carniceras
Herbívoros rumiantes	Molares anchos y planos. Ausencia de caninos.
Herbívoros roedores	Incisivos cortantes de crecimiento indefinido
Omnívoros	Incisivos, caninos y molares

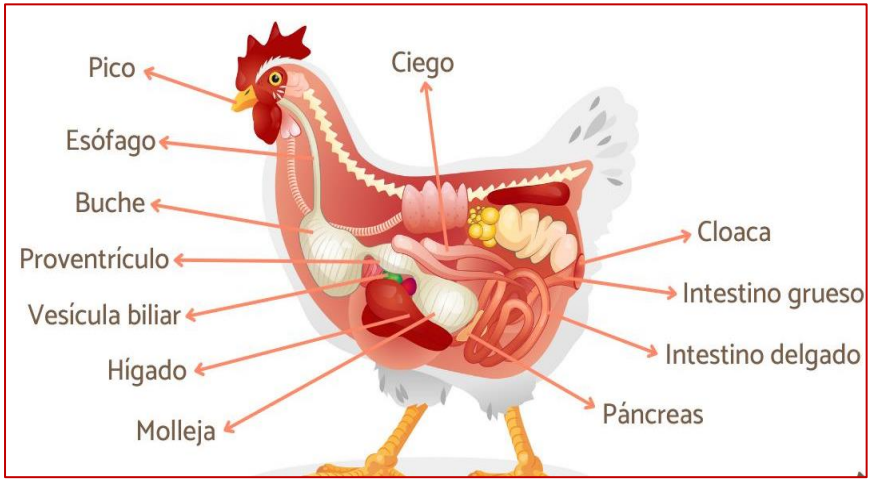
El esófago presenta variaciones en función del grupo de vertebrados y en general realiza una función de transporte. Por ejemplo, en peces teleósteos, quimeras y algunos peces pulmonados, el esófago constituye una única estructura desde la faringe hasta el intestino. En los peces con estómago, el esófago es corto y poco importante, mientras que es muy relevante en tetrápodos. En las aves se presenta una expansión o buche,

siendo una dilatación del esófago de algunos animales como anélidos, insectos y aves, y sirve para almacenar temporalmente los alimentos.

Aunque el estómago en vertebrados originalmente era un órgano de almacenamiento, y es esa su función principal, en él se produce también una digestión mecánica de los alimentos y el inicio de la digestión química (concretamente la digestión de las proteínas). La morfología del estómago es variable, está ausente en peces sin mandíbulas (denominados agnatos), quimeras y peces pulmonados.

En las aves y en los cocodrilos aparece un órgano accesorio: la molleja. Es un pre-estomago muscular que tritura el alimento con ayuda de piedras que son ingeridas por el animal (ver Fig. 5.2).

Fig. 5.2. Sistema digestivo en aves



Nota: la imagen fue tomada y adaptada de https://www.expertoanimal.com/sistema-digestivo-de-las-aves-26432.html

Una de las adaptaciones más interesantes con respecto al sistema digestivo se presenta sin duda en los mamíferos rumiantes, los cuales poseen cavidades que están especializadas en la digestión de celulosa y no de proteínas como en el resto de los mamíferos carnívoros y omnívoros. Los rumiantes tienen un sistema con cuatro cavidades y con microorganismos capaces de romper la celulosa (ver Fig. 5.3):

a) **Rumen:** Es la cavidad más grande. En esta estructura los microorganismos fermentan la celulosa para romperla en azúcares más simples (oligosacáridos, disacáridos,

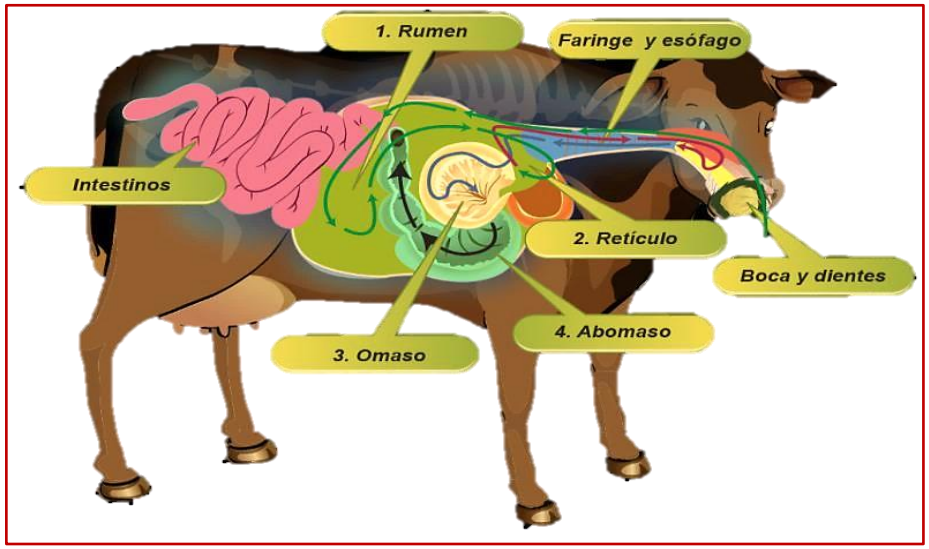
monosacáridos). El bolo se regurgita y continúa la masticación.

b) **Retículo (redecilla o bonete):** Junto con el rumen, en estas estructuras se establecen relaciones de simbiosis con bacterias y protozoos que tienen enzimas capaces de romper los enlaces β-1,4 glucosídicos de la celulosa.

c) **Omaso (libro):** Cuando el alimento es tragado por segunda vez, ya no atraviesa el rumen y el retículo, sino que pasa directamente a esta tercera cavidad, donde se produce la absorción del agua, sales minerales y ácidos grasos.

d) **Abomaso (cuajar):** Esta estructura es el estómago propiamente dicho, tiene glándulas gástricas que secretan enzimas propias de los rumiantes.

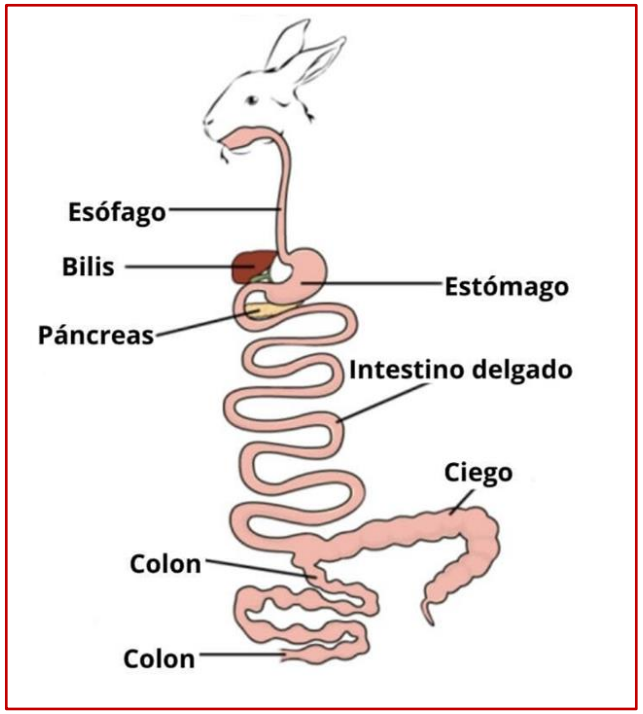
Fig. 5.3. Sistema digestivo de un rumiante



Nota: la imagen fue tomada y adaptada de SENA (https://issuu.com/julianandresrodasmartinez/docs/mf_1_sistema_digestivo_requerimientos_nutricionale/s/11528944)

En los animales herbívoros (conejos y otros roedores) la fermentación de la celulosa se produce en una estructura denominada “ciego”, es una bolsa sin salida situada entre el intestino delgado y el colon (ver Fig. 5.4).

Fig. 5.4. Sistema digestivo de un conejo



Nota: la imagen fue tomada y adaptada de *https://www.lifeder.com/aparato-digestivo-conejo/*

En el intestino delgado se produce la digestión química por la secreción de sustancias digestivas por parte de las células intestinales y por las glándulas anexas (en el grupo de vertebrados las glándulas son: hígado y páncreas). También se produce la absorción de los nutrientes ya que en su conformación histológica presenta vellosidades y microvellosidades. Además, tiene bacterias simbiontes que forman la flora gástrica intestinal.

Las estructuras del intestino grueso y del ano son las regiones en donde se lleva a cabo la reabsorción de agua y finalmente la expulsión de restos no digeridos. En muchos animales la porción final, el ano, se conecta con una cavidad denominada cloaca, junto con el aparato urinario y el genital. Algunas especies (aves y reptiles) reabsorben gran cantidad de agua y producen heces muy secas.

5.2 SISTEMA DIGESTIVO HUMANO: ESTRUCTURA Y FUNCIÓN I

El sistema digestivo es fundamental porque se encarga de realizar los procesos de digestión y absorción de los nutrientes esenciales para mantener un funcionamiento normal por parte del organismo. Desde el punto de vista anatómico, el aparato digestivo es un órgano tubular que se extiende desde la boca hasta el ano, al cual se conectan órganos accesorios como las glándulas salivales, el hígado y el páncreas, que contribuyen a secretar biomoléculas dentro de la luz tubular y ayudar a los procesos de digestión y absorción (Becerra-Verdín, et al. 2017).

5.2.1 CONCEPTO DEL SISTEMA DIGESTIVO

Según Hightower et. al. (2020), el sistema digestivo es un conjunto de órganos que trabajan en conjunto para descomponer los alimentos, absorber los nutrientes esenciales y eliminar los desechos del cuerpo. Este sistema incluye la boca, esófago, estómago, intestinos (delgado y grueso), hígado, páncreas y vesícula biliar. Su funcionamiento se basa en procesos físicos y químicos que convierten los alimentos ingeridos en moléculas más pequeñas que pueden ser absorbidas y utilizadas por las células del cuerpo para obtener energía, crecimiento y reparación.

5.2.2 HISTOLOGÍA DEL TUBO DIGESTIVO

La pared del tubo digestivo está formada por cuatro capas (ver Fig. 5.5) aunque su composición puede variar en las diferentes regiones a lo largo de toda la estructura. Las características histológicas varían en cada una de las regiones de este "tubo" ya que cada parte tiene funciones diferentes, aunque están relacionados íntimamente entre sí (Becerra-Verdín et al., 2017).

a) **Capa mucosa.** Está compuesta por:

- **Epitelio de revestimiento.**
- **Lámina propia:** compuesta por tejido conjuntivo laxo con abundantes vasos sanguíneos y linfáticos y células musculares lisas (a veces también hay glándulas y tejido linfoide).
- **Muscular mucosa:** separa la capa mucosa de la submucosa y comprende dos subcapas delgadas de células musculares lisas, una circular interna y otra longitudinal externa. Estas subcapas promueven el movimiento de la capa mucosa, con independencia de otros movimientos del tubo digestivo, lo que aumenta el contacto de la mucosa con el alimento (Juanqueira y Carneiro, 2015) y de esta manera aumentar la digestión y absorción de moléculas.

b) **Capa submucosa.** Está compuesta por tejido conjuntivo con muchos vasos sanguíneos, linfáticos y un plexo nervioso submucoso (también denominado plexo de Meissner). Adicionalmente, esta capa puede presentar glándulas y tejido de tipo linfoide.

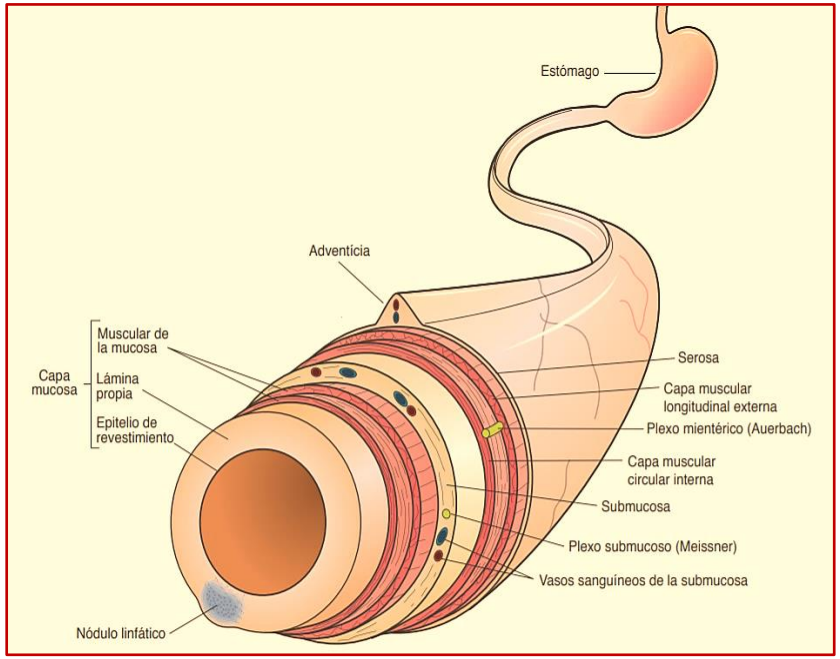
c) **Capa muscular.** Está compuesta por células musculares lisas orientadas en espiral, divididas en dos subcapas, de acuerdo con la dirección principal. En la subcapa más interna

(cercana a la luz del tubo digestivo), la orientación suele ser circular; en la externa, es, en su mayor parte, longitudinal. En algunas zonas existen tres capas como en el estómago. Entre estas dos subcapas se encuentra el plexo nervioso mientérico (o plexo de Auerbach) y tejido conjuntivo que contiene vasos sanguíneos y linfáticos.

Así, las contracciones de la capa muscular, generadas y coordinadas por los plexos nerviosos, impulsan y mezclan el alimento ingerido a lo largo del tubo digestivo. Estos plexos se componen principalmente de aglomeraciones de células nerviosas que forman pequeños ganglios parasimpáticos. La cantidad de ganglios a lo largo del tubo digestivo es variable, pero son más numerosos en las regiones de mayor motilidad (Juanqueira y Carneiro, 2015).

d) **Capa serosa:** es la capa del tejido más externa del tubo digestivo, está conformado por una capa fina de tejido conjuntivo laxo, revestida de epitelio simple plano conocido como mesotelio (Juanqueira y Carneiro, 2015).

Fig. 5.5. Representación de la histología del tubo digestivo



Nota: la imagen fue tomado de Histología Básica (p.280), por Juanqueira, L. y Carneiro, J., 2015, Editorial Médica Panamericana.

5.2.3 PARTES DEL TUBO DIGESTIVO I

5.2.3.1 Boca

La boca es la primera estructura del aparato digestivo, es la vía de entrada de los alimentos y su función es masticar e iniciar el proceso de digestión mecánica y química (Becerra-Verdín et al. 2017). La cavidad bucal se encuentra revestida de epitelio estratificado plano queratinizado. Esta capa queratinizada protege la mucosa bucal de agresiones mecánicas durante la masticación y se la observa en la encía y el paladar duro (Juanqueira y Carneiro, 2015). Se divide internamente en dos regiones:

- **Vestíbulo oral:** Comprende desde los labios y mejillas hasta la arcada dental.
- **Cavidad oral:** Comprende desde la arcada dental hasta el istmo de las fauces, es la región anatómica que conecta la cavidad bucal con la faringe (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

La boca alberga a los dientes y la lengua.

a) Dientes

Son estructuras blancas y duras que se encuentran en la boca; usualmente son utilizados para la masticación. Los seres humanos tienen dos juegos de dientes durante su vida (Higtower et. al., 2020).

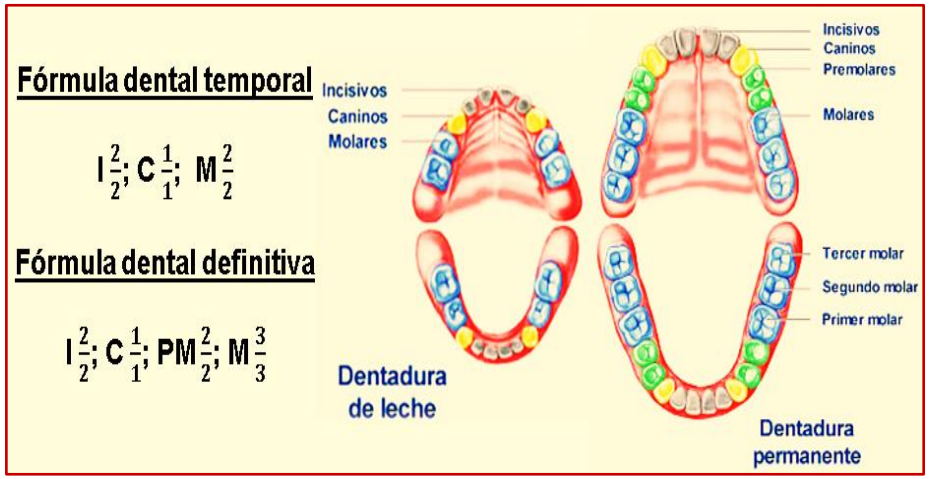
Tipos de dientes:

- **Clasificación según su función:**
  - **Incisivos:** Tiene forma de cincel. Son 8 en total: cuatro en cada mandíbula, específicamente dos a cada lado de la línea media, presenta una sola raíz. Su función es cortar los alimentos.
  - **Caninos:** Son 4 en total, dos en cada mandíbula, están situados inmediatamente por fuera de los incisivos y presentan una sola raíz. Su función es perforar y desgarrar los alimentos.
  - **Premolares:** Llamados también molares menores, son 8 en total, cuatro en cada mandíbula, están situados a continuación de los caninos. Poseen una raíz única y a veces doble. Su función es triturar los alimentos.
  - **Molares:** Son 12 en total, 6 en cada mandíbula. Pueden tener dos, tres o cuatro raíces. Al tercer molar se le

denomina la “muela del juicio” o serótinos y son los últimos dientes en salir. Su función es moler y triturar los alimentos.

- **Clasificación según su permanencia** (el ser humano es difiodonto, es decir presenta dos denticiones):
  - **Dientes caducos, temporales o de leche:** Al nacer el niño no tiene dientes, comienzan a irrumpir a los 6 meses de edad y posteriormente desarrolla un par de dientes cada mes hasta completar un total de 20 piezas dentarias: 8 incisivos, 4 caninos y 8 molares.
  - **Dientes permanentes o definitivos:** Son 32 piezas dentarias de forma similar a los anteriores, más 12 molares. Los primeros en aparecer son los molares (a los 7 años de vida), a excepción de los serótinos o muelas del juicio que aparecen entre los 17 y 30 años de edad y a veces faltan por completo.

Fig. 5.6. Tipos de dientes en humanos



Nota: la imagen fue tomado y adaptado de Blog dentista en tu ciudad (*https://dentistaentuciudad.com/blog/sabes-cuantos-dientes-tenemos/)*

Partes del diente:

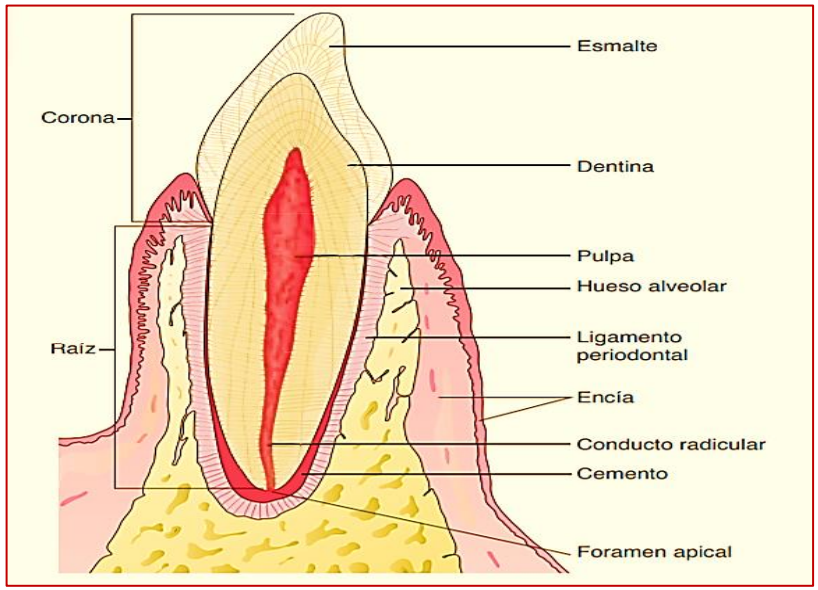
- **Raíz:** Es la parte que sostiene y sujeta el diente al alvéolo dentario (hueso mandibular), internamente posee un canal que ingresa desde el orificio dentario en la punta de la raíz hasta la pulpa por donde circulan arterias, venas y nervios dentarios (Hightower, et. al., 2020).
- **Cuello:** Es la zona que separa a la raíz de la corona, se encuentra en contacto con la encía o gingiva.

- **Corona:** De color blanco, de consistencia dura, que va ensanchándose desde el cuello a la superficie libre, es la parte funcional del diente.

Estructura del diente:

- **Esmalte:** Es el material más duro del cuerpo humano. Alrededor del 96% de sus componentes son minerales, cerca del 1% es materia orgánica y el 3% es agua. Así como en otros tejidos mineralizados, el componente inorgánico del esmalte está representado en mayor medida por cristales de hidroxiapatita. Solo durante el desarrollo del diente, los ameloblastos, células de origen ectodérmico, son las encargadas de producir el esmalte (Juanqueira y Carneiro, 2015).
- **Marfil o dentina:** Es un tejido mineralizado más duro que el hueso debido a su contenido elevado de sales de calcio. Se compone principalmente de fibrillas de colágeno tipo I, glucosaminoglucanos, fosfoproteínas, fosfolípidos y sales de calcio en la forma de cristales de hidroxiapatita. Los odontoblastos, células localizadas en la periferia de la pulpa, son los encargados de segregar la matriz orgánica de la dentina (Juanqueira y Carneiro, 2015).
- **Cemento:** Recubre la dentina radicular y su composición se asemeja a la del tejido óseo, aunque no contiene vasos sanguíneos ni sistemas de Havers. Es más grueso en la región apical de la raíz, donde se encuentran los cementocitos, células con aspecto de osteocitos. Como los osteocitos, estas células quedan encerradas en lagunas; sin embargo, los cementocitos casi no se comunican entre sí a través de los canalículos y su nutrición proviene, sobre todo, del ligamento periodontal. Como el tejido óseo, el cemento es lábil y reacciona a las fuerzas a las que se halla sometido con la resorción del tejido antiguo y la síntesis de tejido nuevo (Juanqueira y Carneiro, 2015).
- **Pulpa dentaria:** Es un tejido conjuntivo laxo. Sus principales componentes son odontoblastos, fibroblastos y una matriz que contiene fibrillas finas de colágeno y diversos glucosaminoglucanos. La pulpa es un tejido muy vascularizado e inervado (Juanqueira y Carneiro, 2015).

Fig. 5.7. Estructura del diente



Nota: la imagen fue tomado y adaptado de Histología Básica (p.283), por Juanqueira, L. y Carneiro, J., 2015, Editorial Médica Panamericana

Función de los dientes:

- Romper mecánicamente los alimentos haciéndolos más disponibles a la acción de los jugos enzimáticos digestivos.
- Intervienen en la modulación del lenguaje hablado.

b) Lengua

Es un órgano compuesto por músculo estriado esquelético revestido de una capa mucosa cuya estructura varía según la región. Las fibras musculares se entrecruzan en tres planos y están agrupadas en capas separadas por tejido conjuntivo. La superficie ventral (inferior) de la lengua es lisa, mientras que la superficie dorsal es irregular, recubierta en la parte anterior por una gran cantidad de elevaciones pequeñas denominadas papilas. El tercio posterior de la superficie dorsal de la lengua está separado de los dos tercios anteriores por una región en forma de “V” (ver Fig. 5.8).

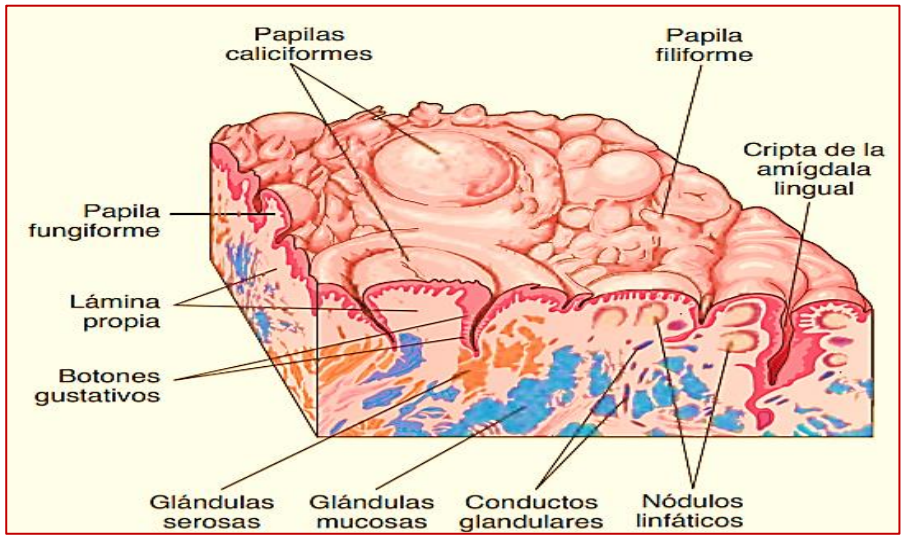
La superficie lingual posterior de esta región presenta protuberancias compuestas principalmente por dos tipos de aglomeraciones linfoides: pequeños grupos de nódulos y amígdalas linguales, en donde los nódulos linfáticos se acumulan en torno a las invaginaciones de la capa mucosa denominadas “criptas” (Juanqueira y Carneiro, 2015).

Funciones de la lengua:

- Es el órgano del gusto y posee también sensibilidad térmica, dolorosa y táctil.

- Ayuda a mezclar e insalivar los alimentos para formar el bolo alimenticio.
- Inicia la deglución. Participa también en el desarrollo del lenguaje articulado.

Fig. 5.8. Superficie de la lengua cercana a la "V" lingual



Nota: la imagen fue tomada de Histología Básica (p.282), por Juanqueira, L. y Carneiro, J., 2015, Editorial Médica Panamericana

5.2.3.2 Faringe

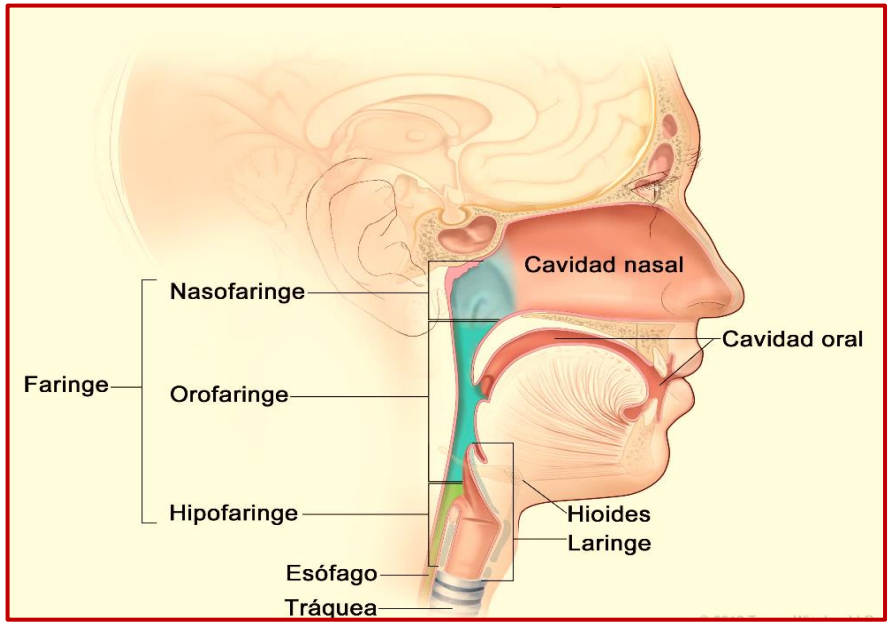
Es un conducto fibromuscular con una longitud promedio de 13 cm, tiene forma de embudo que continúa después de la boca y se comunica con el esófago. Cumple una doble función, pues sirve para canalizar el aire hacia el árbol bronquial y por otra parte llevar el bolo alimenticio hacia el esófago para su transporte y digestión (Becerra-Verdín, et al, 2017).

Para que las vías respiratorias permanezcan cerradas, durante la deglución, la faringe posee un repliegue llamado "epiglotis" que obstruye la glotis, de esta forma se impide que el alimento se introduzca en el sistema respiratorio y pueda ocasionar problemas respiratorios. Finalmente, la faringe se comunica con las fosas nasales, los oídos medios (por la trompa de Eustaquio) y con la laringe (hacia el aparato respiratorio).

Regiones de la Faringe: De arriba hacia abajo (ver Fig. 5.9).

- Rinofaringe (Nasofaringe). Función: es una vía respiratoria.
- Orofaringe (Bucofaringe). Función: es un vía respiratoria y digestiva.
- Laringofaringe (Hipofaringe). Función: es una vía respiratoria y digestiva.

Fig. 5.9. Anatomía de la faringe



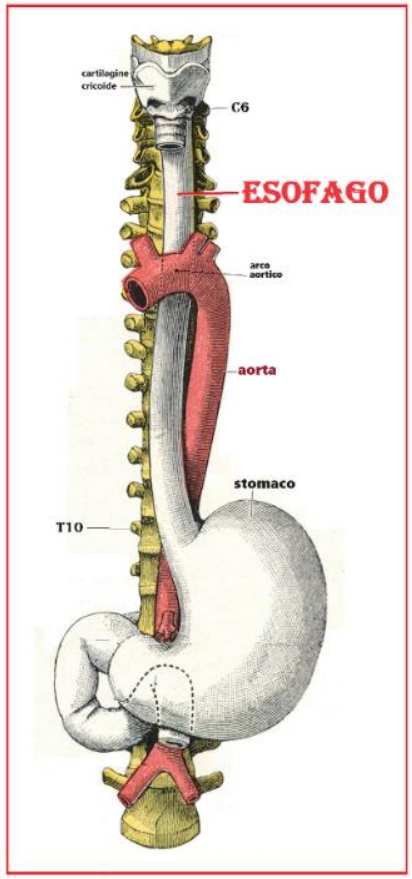
Nota: la imagen fue tomada de Instituto Nacional del Cáncer, 2012 (https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/faringe)

5.2.3.3 Esófago

El esófago es un tubo muscular cuya función es el transporte del alimento desde la boca hacia el estómago. En términos generales, el esófago contiene las mismas capas histológicas que el resto del tubo digestivo. La mucosa esofágica está revestida por un epitelio estratificado plano no queratinizado. En la submucosa también se encuentran grupos de glándulas secretoras de moco, las glándulas esofágicas propiamente dichas, esta secreción facilita el transporte de alimentos y protege la mucosa.

En la porción próxima del esófago, la capa muscular se compone exclusivamente de fibras estriadas esqueléticas; en la porción media, hay una mezcla de musculatura estriada esquelética y lisa; en la porción distal, hay células musculares lisas. Solo la porción del esófago que se encuentra en la cavidad peritoneal está recubierta por una membrana serosa. El resto de la estructura está envuelta de una capa de tejido conjuntivo.

Fig. 5.10. Ubicación anatómica del esófago



Nota: la imagen fue tomada de *https://www.fertilitycenter.it/anatomia/esofago-anatomia*

5.2.3.4 Estómago

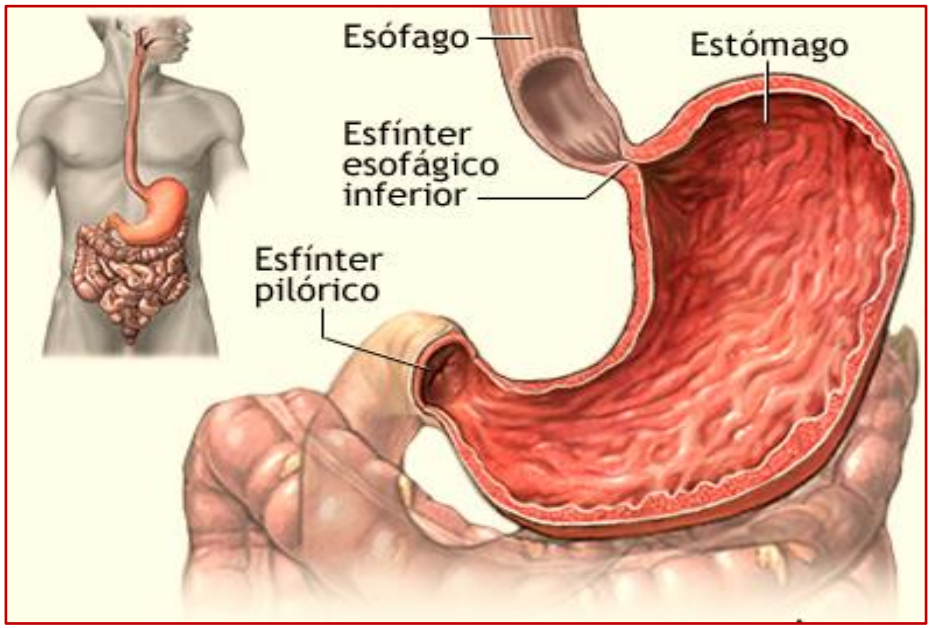
El estómago es un segmento dilatado del tubo digestivo cuya función principal es transformar el bolo alimenticio en una masa viscosa (denominada “quimo”) por medio de la acción muscular y química.

El estómago recibe los alimentos y los líquidos ingeridos del esófago y los retiene para desnaturalizarlos y mezclarlos con el jugo gástrico para que las biomoléculas sean más simples, pequeñas y solubles. Las principales funciones del estómago son: iniciar la digestión de carbohidratos y proteínas, convertir la comida en quimo y descargar el quimo en el intestino delgado periódicamente a medida que la condición física y química de la mezcla se vuelve adecuada para la siguiente fase de la digestión (Hightower et. al., 2020).

El estómago presenta cuatro capas: la mucosa, formada por epitelio simple cilíndrico con su respectiva lámina basal de tejido conectivo laxo, esta primera capa presenta glándulas secretoras del jugo gástrico rico en enzimas; la submucosa, formada por tejido conectivo laxo con vasos sanguíneos y linfáticos; la muscular, formada por tres capas de tejido muscular liso (oblicua interna, circular media y longitudinal externa); y la serosa

formada por tejido conectivo laxo y epitelio simpe plano (mesotelio). Cuando el estómago está vacío, su revestimiento mucoso forma numerosos pliegues longitudinales, conocidos como arrugas; estos tienden a desaparecer cuando se distiende o se relaja.

Fig. 5.11. Ubicación anatómica del estómago

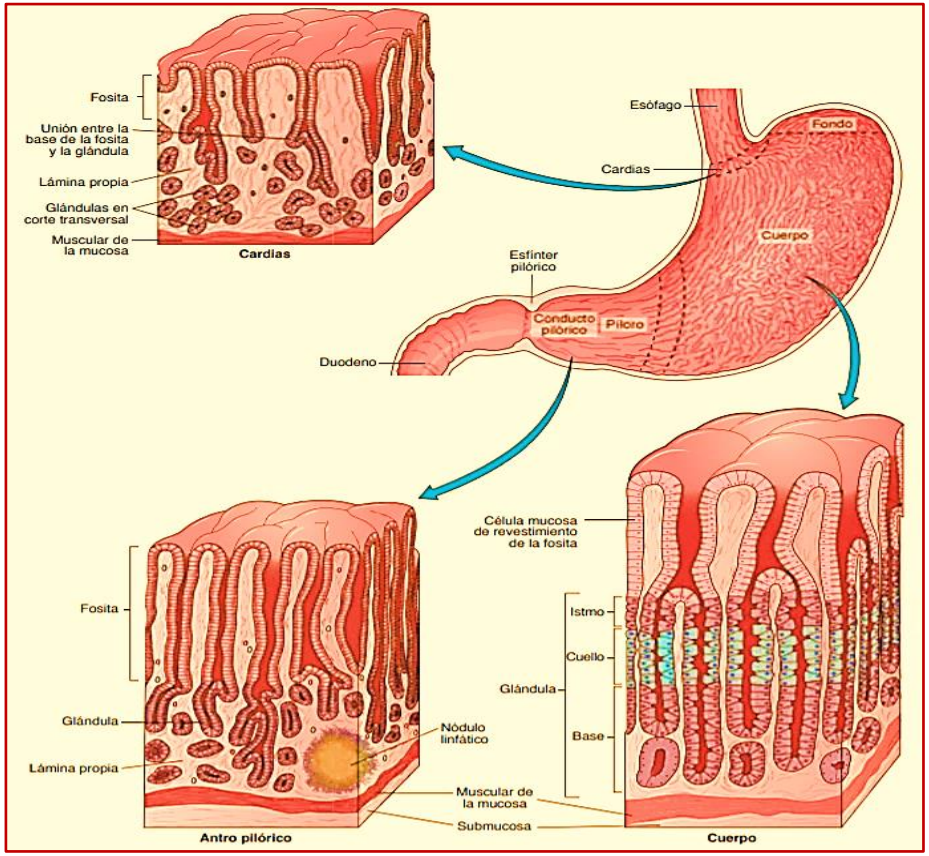


Nota: la imagen fue tomado de MedlinePlus, 2022 (https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19223.htm)

El estómago se divide en cuatro regiones anatómicas:

- **Cardias:** es una banda circular estrecha, de 1,5 cm a 3 cm de ancho, en la transición entre el esófago y el estómago. Su mucosa presenta glándulas tubulares simples o ramificadas, denominadas glándulas cardiales. Las porciones terminales de esas glándulas con frecuencia son enrolladas y tienen luz amplia. Muchas de las células secretoras producen moco y lisozima (una enzima que destruye la pared celular de las bacterias), pero también se encuentran algunas pocas células parietales productoras de H^+ y Cl^- (que formarán ácido clorhídrico en la luz).
- **Fondo y cuerpo:** la mucosa de las regiones del fondo y del cuerpo poseen glándulas tubulares, de las cuales entre tres y siete desembocan en cada fosita gástrica. Las glándulas contienen tres regiones diferentes: istmo, cuello y base (ver Fig. 5.12).

Fig. 5.12. Regiones del estómago y su estructura histológica



Nota: la imagen fue tomado de Histología Básica (p.289), por Juanqueira, L. y Carneiro, J., 2015, Editorial Médica Panamericana

- **Píloro:** contiene fositas gástricas profundas en las que desembocan las glándulas pilóricas tubulares simples o ramificadas. En comparación con el cardias, la región pilórica presenta fositas más largas y glándulas más cortas. Dichas glándulas secretan moco, así como grandes cantidades de la enzima lisozima. La región pilórica contiene muchas células G (células productoras de gastrina), intercaladas con las células mucosas. El sistema parasimpático y la presencia de aminoácidos y aminas en la luz, así como la dilatación de la pared del estómago, estimulan en forma directa la actividad de las células G, que liberan gastrina, la cual, a su vez, activa la producción de ácido en las células parietales (Juanqueira y Carneiro, 2015).

La distribución de los diferentes tipos celulares epiteliales de las glándulas gástricas no es uniforme. El istmo tiene células mucosas en diferenciación que sustituirán las células de la fosita y las células superficiales, células madre y células parietales (oxínticas). El cuello contiene células madre, mucosas del cuello (diferente de las mucosas del istmo y de la superficie) y parietales (oxínticas); la base de las glándulas presenta en su gran mayoría células parietales y cimógenas (denominadas también células principales). Las células enteroendocrinas están distribuidas por el cuello y la base de las glándulas (Juanqueira y Carneiro, 2015).

En la siguiente tabla podemos observar las características de los diferentes tipos celulares presentes en el estómago.

TIPO DE CÉLULA	DESCRIPCIÓN
Células madre	Presentes en pequeña cantidad en la región del istmo y el cuello, las células madre son cilíndricas bajas, con núcleos ovales cercanos a la base de las células.
Células mucosas del cuello	Tienen forma irregular, con los núcleos en la base celular y los gránulos de secreción cerca de la superficie apical. El tipo de mucina secretada es diferente de la proveniente de las células epiteliales mucosas de la superficie e incluso tiene propiedades antibióticas (Juanqueira y Carneiro, 2015).
Células parietales	Son células redondeadas o piramidales, con núcleo esférico. Secretan histamina y un polipéptido denominado gastrina los cuales son estimulantes potentes de la producción de ácido clorhídrico, y ambas se secretan en la mucosa gástrica. La gastrina también ejerce un efecto trófico (local) en la mucosa gástrica, dado que estimula su crecimiento.
Células cimógenas	Secretan pepsinógeno, el cual, una vez que se lo secreta en el ambiente ácido del estómago se convierte rápidamente en la enzima proteolítica pepsina. En el jugo gástrico humano hay siete pepsinas diferentes y todas son activas en un pH inferior a 5.0. En los seres humanos las células cimógenas también producen la enzima lipasa (Juanqueira y Carneiro, 2015).
Células enteroendocrinas	A lo largo del tubo gastrointestinal se secretan diversas hormonas. En la región del cuerpo del estómago los principales productos segregados son la 5-dihidroxitriptamina (serotonina) y la ghrelina. En el antro pilórico, la gastrina (proveniente de las células G) constituye la principal hormona secretada y es esencial para diversas funciones gástricas.

Funciones del estómago

- Permite almacenamiento de alimentos de 1 a 4 horas.
- Secreción del jugo gástrico en un promedio de 2 a 3 litros por día.
- Secreción de hormonas metabólicas como gastrina, endotelina y el neuropéptido Y.
- Mezcla del bolo alimenticio con el jugo gástrico formando una sustancia denominada quimo.
- Transporte progresivo del quimo hacia el duodeno.
- Inicio de la digestión química de las proteínas, por acción de la pepsina, la quimosina (también llamada rennina) o fermento gástrico, que actúa sobre la caseína de la leche.
- Función antiséptica gracias a la acción del ácido clorhídrico.
- Absorción de ácidos grasos, agua, alcoholes, algunas sales minerales y vitamina B12.

5.3 SISTEMA DIGESTIVO HUMANO: ESTRUCTURA Y FUNCIÓN II

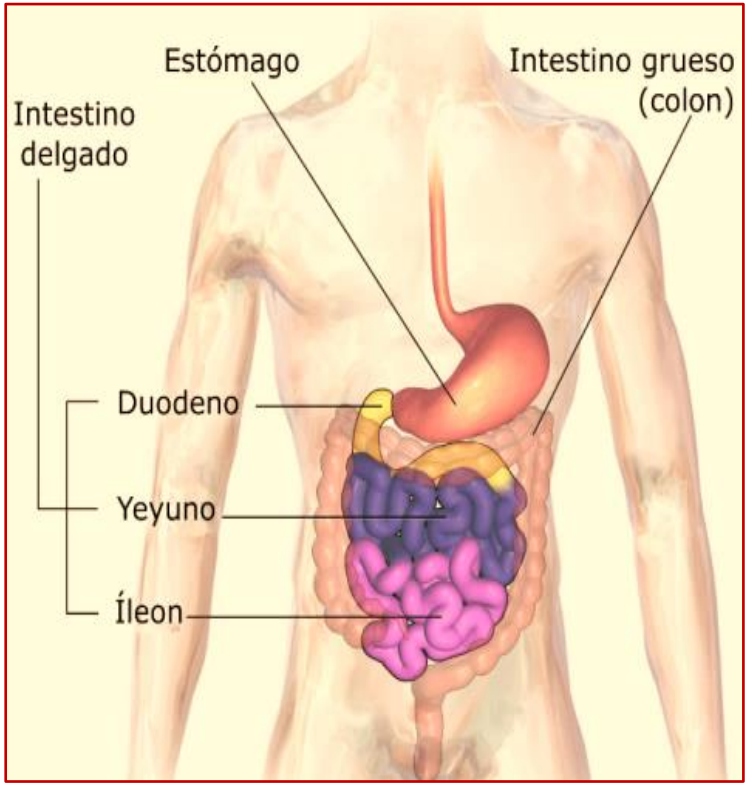
En esta parte del tema se estudiarán las estructuras del sistema digestivo: intestino delgado, intestino grueso, recto y ano.

5.3.1 INTESTINO DELGADO

El intestino delgado es la porción más delgada y larga del tubo digestivo. Se extiende desde el píloro hasta la válvula ileocecal que lo separa del intestino grueso. Tienen forma tubular, cilíndrica y mide aproximadamente 5 metros de largo. El intestino se dobla sobre sí mismo (entra 14 a 16 vueltas) formando las asas intestinales (constituyendo el yeyuno e íleon). Los procesos de digestión se completan en el intestino delgado, en el cual las células epiteliales de revestimiento absorben los nutrientes (productos de la digestión) (Juanqueira y Carneiro, 2015).

El intestino delgado se compone de tres segmentos: duodeno, yeyuno e íleon (ver Fig. 5.13).

Fig. 5.13. Secciones del intestino delgado



Nota: la imagen fue tomada y adaptada de Mejor con salud, 2021 *(https://mejorconsalud.as.com/wp-content/uploads/2017/08/CDR751586.jpg?auto=webp&quality=45&width=1920&crop=16:9,smart,safe)*

5.3.1.1 Duodeno

Es la primera porción del intestino delgado, es corta (mide 25 cm aproximadamente) comienza en el esfínter pilórico del estómago,

posee glándulas duodenales o glándulas de Brunner, las cuales secretan moco alcalino que ayuda a neutralizar el ácido gástrico del quimo, en él desembocan el colédoco (un conducto derivado del hígado) y el conducto de Wirsung (derivado del páncreas) que se unen y desembocan en la ampolla de Vater, finalmente, a 2.5 centímetros más arriba desemboca el conducto auxiliar de Santorini (derivado del páncreas).

5.3.1.2 Yeyuno

El yeyuno es la porción intermedia del intestino delgado, situada entre el duodeno y el íleon. Se caracteriza por tener una pared más gruesa y un diámetro mayor en comparación con el íleon. Su superficie interna está cubierta de numerosas vellosidades intestinales, que aumentan la superficie de absorción de nutrientes. El yeyuno desempeña un papel crucial en la digestión y absorción de carbohidratos, proteínas y lípidos. Las contracciones musculares rítmicas del yeyuno, conocidas como movimientos peristálticos, facilitan el transporte del contenido intestinal hacia el íleon (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

5.3.1.3 Íleon

El íleon es la última y más larga porción del intestino delgado, que se extiende desde el yeyuno hasta la válvula ileocecal, donde se conecta con el colon. Su función principal es la absorción de nutrientes y la reabsorción de sales biliares y vitamina B12. El íleon tiene una pared más delgada y un diámetro menor en comparación con el yeyuno, y su superficie interna presenta menos vellosidades intestinales. Además, contiene las placas de Peyer, que son agregados de tejido linfoide importantes para la respuesta inmunitaria intestinal. Los movimientos peristálticos del íleon aseguran el avance del quimo hacia el intestino grueso (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

5.3.1.4 Modificaciones histológicas para la absorción

a) **Pliegues circulares:** pueden ser de forma semilunar, circular o en espiral, que consisten en plegamientos de la mucosa y la submucosa.

b) **Vellosidades intestinales:** se forman en la capa mucosa, son proyecciones alargadas formadas por epitelio y lámina propia, con una longitud de 0,5 a 1,5 mm.

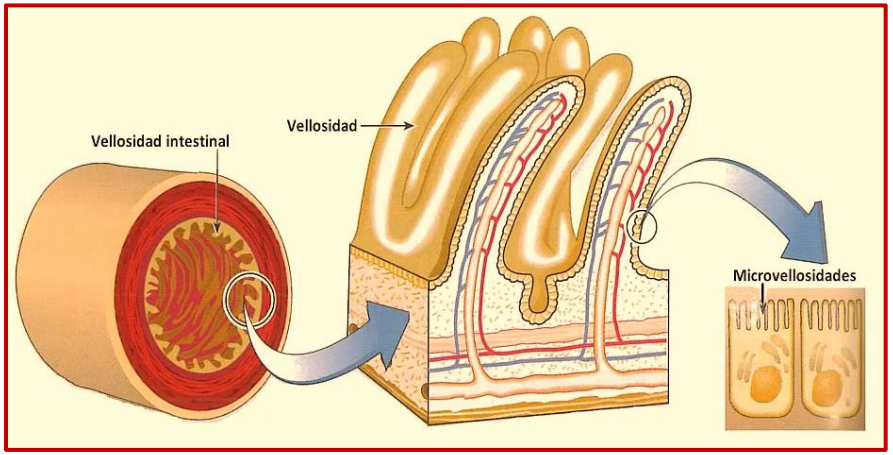
El epitelio de revestimiento de las vellosidades es del tipo simple cilíndrico. Está formado principalmente por enterocitos (células con función de absorción) y células caliciformes.

c) **Microvellosidades:** cada una mide alrededor de 1 µm de altura por 0,1 µm diámetro. La membrana celular envuelve un eje de microfilamentos de actina asociados con fimbrina y villina (proteínas del citoesqueleto).

Se calcula que cada célula con función de absorción tiene, en promedio, tres mil microvellosidades y que un milímetro cuadrado de mucosa contiene cerca de 200 millones de esas estructuras (ver Figs. 5.14 y 5.15).

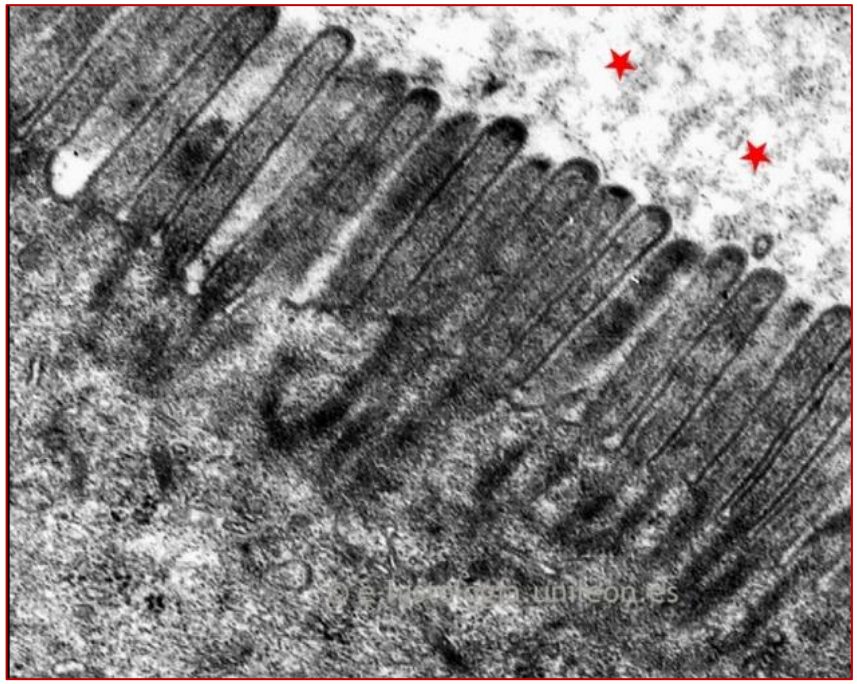
Los pliegues circulares, las vellosidades y las microvellosidades aumentan mucho la superficie de la mucosa intestinal. Según cálculos, los pliegues incrementan la superficie intestinal cerca de 3 veces; las vellosidades 10 veces, y las microvellosidades más o menos 20 veces. En conjunto, estas estructuras aumentan la extensión de la superficie intestinal unas 600 veces, lo que significa una superficie aproximada de 200 metros cuadrados (Juanqueira y Carneiro, 2015).

Fig. 5.14. Modificaciones para la absorción intestinal



Nota: imagen tomada de Digestión intestinal, FCA, UNC, por Cecilia Pen *(https://www.youtube.com/watch?v=DEtiLE9dcIk&ab_channel=CampusFCA-UNC)*

Fig. 5.15. Imagen de las microvellosidades intestinales tomada por Microscopía Electrónica



Nota: imagen tomada de *https://e-histologia.unileon.es/Citologia/data/Microvellos/Microvellos_luz_intest.htm*l

5.3.1.5 Glándulas intestinales

- **Glándulas de Brunner:** Situadas en la submucosa del duodeno. Producen mucus para proteger la mucosa, y su pH básico (alcalino) sirve para neutralizar la acidez del quimo.
- **Glándulas de Lieberkuhn:** Localizadas en la mucosa intestinal. Producen jugo intestinal (entre 1 a 2 litros diarios), el cual contiene enzimas como erepsina (su función es la digestión de proteínas) y disacarasas (realizan hidrólisis de disacáridos) y ribonucleasas.
- Los movimientos peristálticos permiten el avance y mezcla del quimo con el jugo biliar, pancreático e intestinal, formando una sustancia lechosa denominada “Quilo”, el cual contiene monosacáridos, glicerina, aminoácidos, nucleótidos, agua, sales minerales y vitaminas.

5.3.1.6 Funciones del intestino delgado

- Secreción del jugo intestinal.
- Formación del quilo.
- Digestión de carbohidratos, lípidos y proteínas.
- Absorción de sustancias.
- Secreción de hormonas, como la secretina y colecistocinina, cuya función es estimular la producción de enzimas del páncreas y de bilis almacenada en la vesícula biliar.
- Activación y desarrollo de la respuesta inmune.

5.3.2 INTESTINO GRUESO

Es la porción final del tubo digestivo y tiene un diámetro mucho más grande que el intestino delgado. La capa mucosa del intestino grueso no tiene pliegues, excepto en su porción distal (en el recto), ni vellosidades.

La capa muscular se compone de los estratos circular y longitudinal. Sin embargo, esta capa es diferente de la del intestino delgado porque las fibras del estrato longitudinal se unen para formar tres bandas longitudinales gruesas denominadas tenias coli (del colon).

En las partes libres del colon, la capa serosa se caracteriza por la presencia de pequeñas protuberancias pedunculadas de tejido adiposo, los apéndices epiploicos u omentales (Higtower et. al., 2020).

5.3.2.1 Anatomía del intestino grueso

El intestino grueso se puede dividir en:

- **Ciego:** Conforma la primera parte del intestino grueso, es un saco grueso, aquí se encuentra la válvula ileocecal que protege la apertura del íleon (la porción terminal del intestino delgado). Las fibras musculares circulares del íleon y las del ciego se combinan para formar el músculo esfínter circular de la válvula ileocecal. En la parte inferior externa se encuentra una prolongación cilíndrica de aproximadamente 5 cm de longitud denominado apéndice vermiforme o cecal (Hightower et. al., 2020).
- **Apéndice Vermiforme:** El apéndice vermiforme es un divertículo del ciego. Se caracteriza por una luz relativamente irregular, pequeña y estrecha, debido a los abundantes nódulos linfáticos en su pared. Aunque su estructura general sea similar a la del intestino grueso, contiene menor cantidad de glándulas intestinales, que también son menores. Además, no presenta tenias del colon (Hightower et. al., 2020).
- **Colon ascendente:** Se extiende desde el ciego al nivel de la válvula ileocecal hasta la curva del colon llamada ángulo hepático. Es la parte del intestino grueso que se encarga de absorber el agua para compactar los residuos y formar así las heces (Hightower et. al., 2020).
- **Colon transverso:** tiene una posición variable, dependiendo en gran medida de la distensión del estómago, pero por lo general se encuentra en el plano subcostal, es decir, al nivel

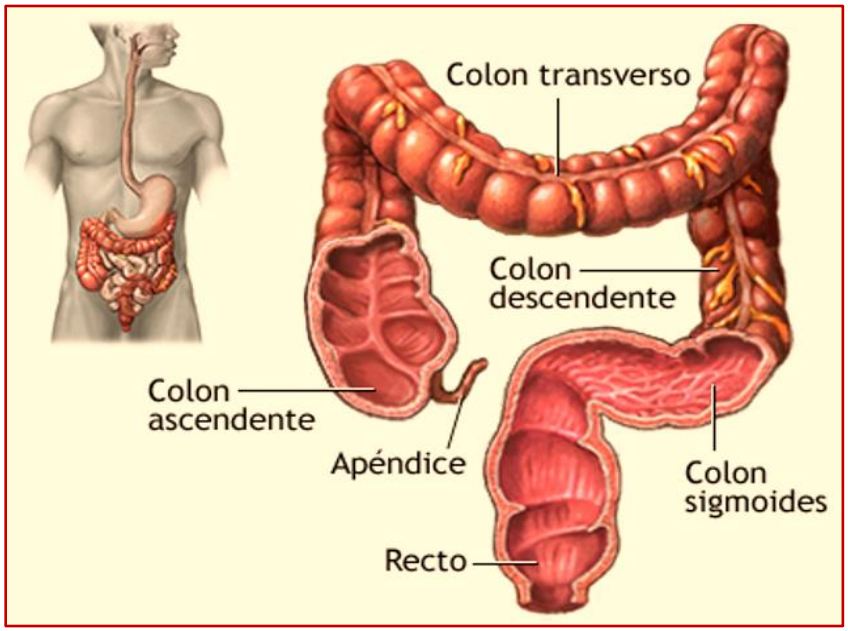
de la décima costilla. En él continúa la absorción de agua y la consecuente formación de las heces (Hightower et. al., 2020).

- **Colon descendente:** pasa hacia abajo y por delante del riñón izquierdo y el lado izquierdo de la pared abdominal posterior hasta la cresta ilíaca. En su interior sigue realizándose la absorción de agua y los residuos ya están altamente compactados en forma de heces (Hightower et. al., 2020).
- **Colon sigmoideo**: El colon sigmoide tiene una forma de "S" y aunque se siga absorbiendo el agua para formar las heces, su principal función es compactarlas y conducirlas hasta el recto (Hightower et. al., 2020).

5.3.2.2 Funciones del intestino grueso

- Absorbe agua para mantener la osmolaridad o el nivel de solutos de la sangre excretando y absorbiendo los electrolitos del quimo.
- Almacena materia fecal hasta que pueda ser evacuada por la defecación.
- Secreta moco, el cual ayuda a lubricar el contenido intestinal y facilita su transporte a través del intestino.
- Contiene una gran cantidad de bacterias que sintetizan niacina (ácido nicotínico), tiamina (vitamina B1) y vitamina K. Estas vitaminas que son esenciales para varias actividades metabólicas, así como para el funcionamiento del sistema nervioso central (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

Fig. 5.16. Anatomía y morfología del intestino grueso



Nota: imagen tomada de Cuaderno de cultura científica, UNC, por C. Pen (https://www.youtube.com/watch?v=DEtiLE9dcIk&ab_channel=CampusFCA-UNC)

5.3.3 RECTO

El recto es la porción final del intestino grueso, que se extiende desde el colon sigmoide hasta el canal anal. Histológicamente, el recto está revestido por una mucosa similar a la del colon, con criptas de Lieberkühn que contienen células caliciformes secretoras de moco, esenciales para lubricar las heces. Anatómicamente, el recto se sitúa en la cavidad pélvica, tiene una longitud aproximada de 12-15 cm y presenta tres curvas laterales conocidas como pliegues transversos de Houston. Fisiológicamente, el recto actúa como un almacén temporal para las heces antes de la defecación. Los receptores de estiramiento en sus paredes activan el reflejo de defecación cuando el recto se llena, señalando la necesidad de evacuar (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

Funciones del recto

- Formación del bolo fecal y almacenamiento temporal de heces fecales.
- Absorción de residuos finales de agua.

5.3.4 ANO

El ano es la abertura terminal del tracto gastrointestinal a través de la cual las heces son expulsadas del cuerpo. Anatómicamente, el ano está rodeado por dos esfínteres: el esfínter anal interno, compuesto de músculo liso y controlado involuntariamente, y el esfínter anal externo, formado por músculo estriado y controlado voluntariamente. Histológicamente, la mucosa del canal anal está revestida por epitelio escamoso estratificado no queratinizado que proporciona protección contra la abrasión. Fisiológicamente, la coordinación entre los esfínteres anales y los músculos del piso pélvico es crucial para el control de la continencia fecal. Durante la defecación, el esfínter anal interno se relaja de manera refleja mientras que el esfínter anal externo se relaja voluntariamente para permitir la expulsión de las heces (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

Funciones del ano

- Control de la continencia fecal.
- Defecación.

5.4 GLÁNDULAS ANEXAS

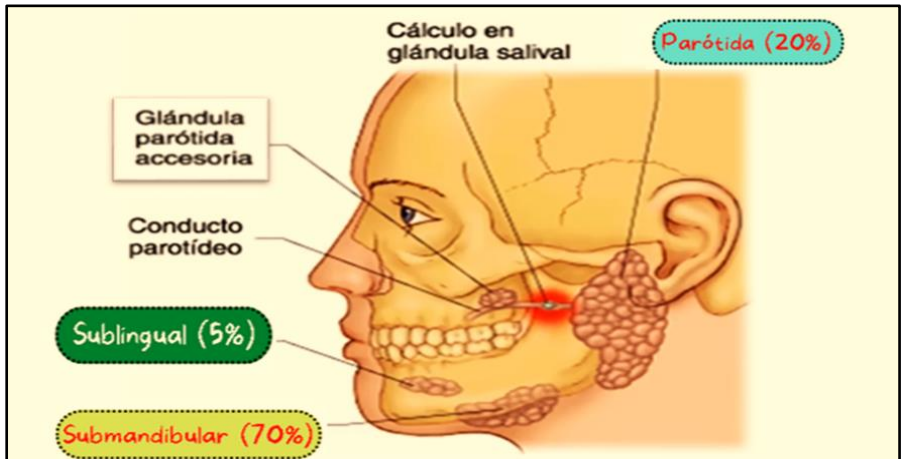
En esta sección estudiaremos tres glándulas fundamentales que acompañan todo el proceso del sistema digestivo: las glándulas salivales, el páncreas y el hígado.

5.4.1 GLÁNDULAS SALIVALES

Las glándulas salivales son un conjunto de glándulas alrededor de la boca, son las encargadas de elaborar la saliva (entre 1000 a 1500 ml/día), posee un pH entre 6.2 - 7.6 y contiene ptialina (también conocida como amilasa salival) (ver Fig. 5.17).

- **Parótidas:** Se ubican delante y debajo del pabellón de la oreja. Envía saliva serosa a la boca mediante el conducto de Stenon que desemboca a la altura del segundo molar superior. Genera el 20% de la saliva diaria.
- **Submandibular:** También llamada submaxilar, se ubica en la cara interna de la mandíbula o maxilar inferior. Produce saliva seromucosa, con una mayor proporción de saliva serosa. La saliva sale a la boca mediante el conducto de Wharton. Generan el 70% de la saliva diaria.
- **Sublinguales:** Se ubican debajo de la lengua a cada lado del frenillo y vierten saliva predominantemente mucosa. La saliva es secretada a través de los conductos de Rivinus y Bartholin, que se abre en el suelo de la boca a nivel del frenillo de la lengua. Elaboran el 5% de la saliva diaria.

Fig. 5.17. Glándulas salivales



Glandular	Conducto	Tipo de secreción
Parótida (20%)	Stenon	Saliva serosa
Submandibular (70%)	Wharton	Saliva seromucosa
Sublingual (5%)	Rivinus o Bartholin	Saliva mucosa

Nota: imagen fue tomada y adaptada de cuidatusaludcondiane, (*https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/las-glandulas-salivales-funcion-y-que-son-16845.html*)

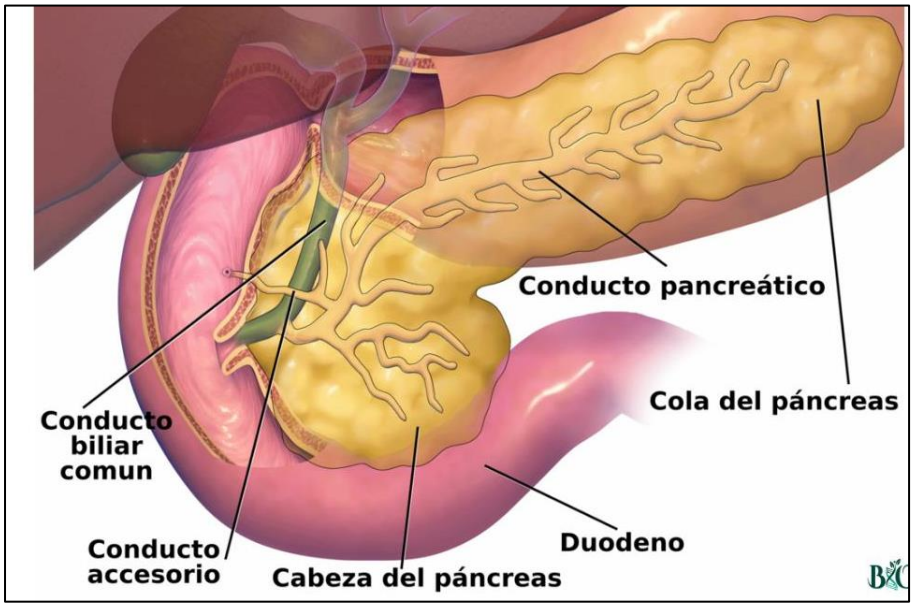
Funciones de las glándulas salivales

- Mantiene húmeda la cavidad oral.
- Permiten el comienzo de la digestión química de los glúcidos mediante la amilasa o ptialina que rompe polisacáridos (como el almidón) en maltosa.
- Permite la formación del bolo alimenticio.
- Favorece la deglución.
- Destruye parte de las bacterias ingeridas en los alimentos gracias a enzimas como la lisozima.

5.4.2 PÁNCREAS

El páncreas es una glándula mixta de forma alargada que mide 18 cm de longitud y pesa 70 g., presenta una distribución anatómica en: cabeza, istmo, cuerpo y cola. Tiene color plomizo y se encuentra ubicado en la región retroperitoneal. Posee el conducto principal o de Wirsung (que junto al colédoco determina la carúncula mayor del duodeno) y al conducto accesorio o Santorini (forma la carúncula menor del duodeno).

Fig. 5.18: Anatomía del páncreas



Nota: imagen fue tomada y adaptada de https://www.bioenciclopedia.com/pancreas-humano-anatomia-y-funciones-973.html

5.4.2.1 Histología del páncreas

Gran parte del páncreas cumple una función exocrina y la sustancia que produce recibe el nombre de jugo pancreático. Mientras que su porción endocrina está formada por los “islotes de Langerhans” que se encuentran dispersos en la glándula.

Dentro de los islotes de Langerhans existen varios tipos de células endocrinas:

- **Células α:** Productoras de glucagón (hormona que eleva los niveles de azúcar en la sangre cuando están bajos).
- **Células β:** Productoras de insulina (hormona que disminuye los niveles de azúcar en la sangre cuando están elevados).
- **Células δ:** Productoras de somatostatina (hormona que inhibe a las dos anteriores).

En la porción exocrina del páncreas se produce el jugo pancreático.

Jugo pancreático

Hay una producción de jugo pancreático diaria de 1200-1500ml/día, siendo dependiente de la alimentación. Tiene un pH de 7.1-8.2. La composición es de agua, bicarbonato y enzimas digestivas. Estas enzimas digestivas se van a producir en el páncreas de forma inactiva. Estas enzimas digestivas son: proamilasa (destinada a los hidratos de Carbono). Protripsinógeno, proquimotripsinógeno y prodecarboxilasa en la digestión de péptidos. También se encuentran prolipasas pancreáticas (Almagià A. y Lizana P, 2009).

- **Enzimas activadas:** La alfa amilasa pancreática (para la digestión de carbohidratos), la lipasa pancreática (para la digestión de lípidos).
- **Enzimas no activadas:** La procarboxipeptidasa, tripsinógeno y quimotripsinógeno, se tienen que activar por acción de la enteroquinasa del intestino delgado en carboxipeptidasa, tripsina y quimiotripsina respectivamente y de esta manera realizar la digestión de proteínas, por lo tanto, se podría decir que el páncreas tiene las enzimas más importantes para la digestión de los alimentos ingeridos, por lo que una posible lesión nos produciría enfermedades relacionadas con una inadecuada absorción de compuestos.

Cuando el quimo llega al duodeno se producen enzimas enterocinasas y estas permiten la transformación de tripsinógeno a tripsina y esta tripsina transforma las formas inactivas a activas. La activación de estas enzimas depende de la llegada del quimo al duodeno.

Los jugos pancreáticos son secretados por la porción descendente del duodeno a través del conducto de Wirsung o conducto pancreático, que se unirá al colédoco para desembocar en la ampolla de Vater (Almagià A. y Lizana P, 2009).

5.4.3 HÍGADO

El hígado es la glándula anexa al sistema digestivo más grande del cuerpo. El hígado es una glándula exocrina que secreta bilis por vía del sistema de conductos biliares hacia el duodeno, y al mismo tiempo es una glándula endocrina que sintetiza y libera una variedad de compuestos orgánicos hacia el torrente sanguíneo (como las hormonas somatomedina y angiotensinógeno). Tiene un peso de 1.5 Kg. en promedio en el ser humano adulto.

5.4.3.1 Funciones del hígado

a) Metabólicas:

- Metabolismo de Carbohidratos: Mantiene normal la concentración de glucosa en la sangre. Interviene en las siguientes rutas metabólicas:
  - Glucogénesis: Sintetiza glucógeno a partir de glucosa.
  - Glucogenólisis: Cuando las concentraciones sanguíneas de glucosa son bajas, convierte el glucógeno en glucosa.
  - Gluconeogénesis: Sintetiza glucosa a partir de aminoácidos, glicerol y lactato.
- Metabolismo de lípidos: Interviene en la beta oxidación de los ácidos grasos; sintetiza lipoproteínas que transportan ácidos grasos, grasas, colesterol y fosfolípidos; degrada el colesterol a sales biliares.
- Metabolismo de proteínas: Interviene en la desaminación de aminoácidos, formación de urea, en la síntesis de proteínas plasmáticas como la albumina, globulinas, fibrinógeno.
- Almacenamiento de vitaminas: Almacena vitaminas A, D, B12 y K.

b) **Detoxificación:** Sustancias tóxicas y diversos fármacos son neutralizados en los hepatocitos mediante procesos de oxidación, acetilación, metilación y conjugación. Las enzimas que intervienen en estos procesos están localizadas en el retículo endoplasmático liso de los hepatocitos.

c) Hematológicas:

- Hemocatéresis: Las células de Küpffer (macrófagos fijos) fagocitan y destruyen eritrocitos viejos o deformes.
- Hematopoyesis fetal: Forma a los elementos de la sangre entre el tercer y sexto mes del desarrollo embrionario.
- Anticoagulante: produce heparina, una molécula que tiene acción anticoagulante.
- Coagulante: Fabrica factores de la coagulación, (I, II, V, VII, IX, y X).

d) Excretora:

La formación de urea ocurre en el hígado a partir del amoniaco (NH_3) que proviene de la degradación de aminoácidos. La urea posteriormente pasará al riñón que la eliminará en la orina.

El hígado también sintetiza ácido úrico a partir de purinas (bases nitrogenadas). El ácido úrico también será excretado por el riñón en la orina.

Finalmente, producto de la hemocatéresis (destrucción de glóbulos rojos viejos o alterados) se libera el grupo Hemo de la hemoglobina y a partir de él se produce bilirrubina no conjugada, que en el hígado sufrirá el proceso de conjugación y luego será eliminado con la bilis. Posteriormente puede ser eliminada en la orina como urobilina o en las heces como estercobilina.

5.5 SISTEMA EXCRETOR ANIMAL

El sistema de excreción en animales es responsable de la eliminación de desechos metabólicos y la regulación del equilibrio hídrico y electrolítico en el organismo. Este sistema incluye órganos como los riñones, que filtran la sangre para remover desechos nitrogenados y mantener la homeostasis de líquidos y solutos; los uréteres, que transportan la orina desde los riñones hasta la vejiga urinaria; la vejiga, que almacena la orina; y la uretra, a través de la cual la orina es excretada del cuerpo. En algunos animales, otros órganos como las glándulas sudoríparas, las glándulas salinas y las estructuras respiratorias también participan en la excreción de ciertos desechos. Este sistema es vital para mantener el equilibrio interno del organismo y prevenir la acumulación de sustancias tóxicas (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

5.5.1 CLASES DE EXCRECIÓN

a) **Directa:** la eliminación de los desechos como el amoniaco (NH_3), urea o ácido úrico principalmente se realiza por difusión a través de la superficie corporal. Lo presentan las esponjas y los celentéreos. En este tipo de excreción no existe un sistema como tal y por lo tanto el proceso se realiza de forma directa.

b) **Indirecta:** se presenta un sistema excretor con diferentes grados de desarrollo, la presentan los platelmintos, nematodos, moluscos, anélidos, artrópodos, equinodermos y

vertebrados, estos últimos con órganos excretores más desarrollados.

5.5.2 APARATO URINARIO HUMANO

La excreción en el ser humano es llevada a cabo por el aparato urinario. Este sistema tiene por objetivo tomar los productos de excreción de la sangre y llevarlos al exterior. Los productos de excreción son sustancias que resultan de la actividad metabólica en las células (urea, ácido úrico, sales inorgánicas, CO_2) o aquellas que se han tomado en exceso (agua, sales, alcohol), o son nocivas para el organismo (sustancias tóxicas, residuos de medicamentos, exceso de glucosa). Estas sustancias son llevadas por el torrente sanguíneo a los riñones donde se forma la orina que se acumula en la vejiga urinaria y es expulsada al exterior por la uretra.

5.5.2.1 Riñones

Los riñones son órganos grandes (11 cm de largo, 4 a 5 cm de ancho y 2 a 3 cm de grueso) de color rojizo y tienen forma de habichuela, están ubicados en el retroperitoneo a ambos lados de la columna vertebral.

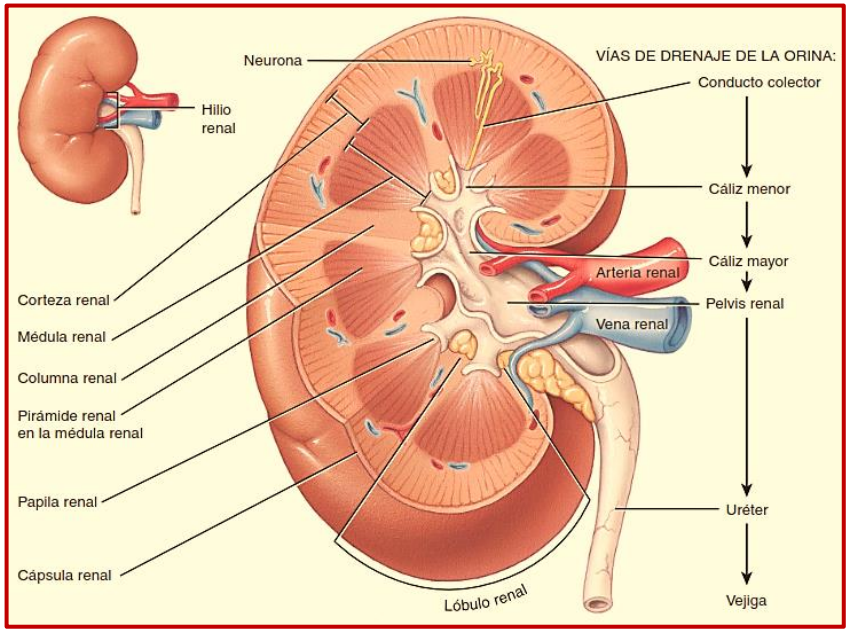
a) Anatomía interna del riñón

Dentro de la anatomía interna del riñón encontramos:

Corteza renal: De color oscuro y de aspecto granuloso debido a los corpúsculos renales o de Malpighi. En la corteza renal se encuentran los glomérulos renales y los tubos contorneados.

Médula renal: La médula renal contiene entre 12 a 18 estructuras triangulares denominadas pirámides renales. El ápice de cada pirámide es una papila renal, cada papila tiene varios poros que son las aberturas de los conductos colectores. La porción de la corteza renal más una pirámide se denomina lóbulo renal. En la médula renal se ubican el Asa de Henle y el tubo colector (ver Fig. 5.19).

Fig. 5.19. Anatomía interna del riñón



Nota: imagen fue tomada y adaptada de Principios de anatomía y fisiología humana (p.1070), por Tortora y Derrickson, 2018, Editorial Médica Panamericana.

5.5.2.2 Nefrona

La unidad funcional del riñón es la nefrona. Cada riñón está formado por más de un millón de nefronas. Consta de dos porciones: Un corpúsculo renal en el que se filtra el líquido y un túbulo renal, al que pasa el líquido filtrado (Robson et. al., 2020).

a) Corpúsculo renal

Es un ovillo de capilares denominado glomérulo. Se encuentra rodeado por una capa epitelial de doble pared, la cápsula de Bowman o cápsula glomerular, conformada por dos hojas, la visceral o interna que presenta podocitos (células en forma de pie) que envuelven al glomérulo y finalmente la hoja parietal o externa presenta un epitelio escamoso no especializado.

El plasma sanguíneo es filtrado a través de la pared capilar glomerular y su capa podocítica adherente para formar un ultrafiltrado que permanece dentro del espacio urinario del corpúsculo y sale de este por el túbulo contorneado proximal. El agua y muchos solutos se filtran desde el plasma sanguíneo al espacio capsular. Las proteínas plasmáticas de alto peso molecular y los elementos propios de la sangre normalmente no se filtran.

b) Túbulo renal

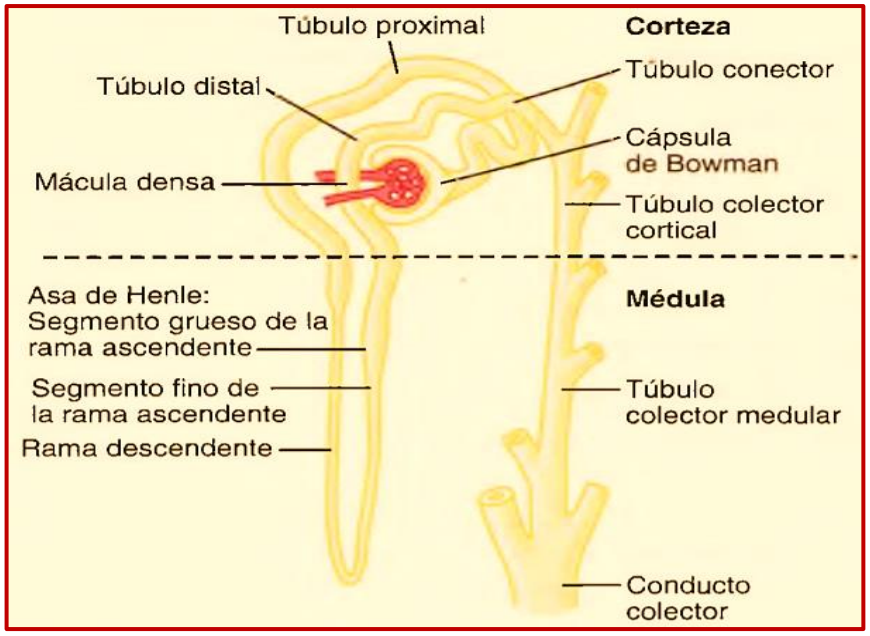
Presenta tres segmentos principales:

Túbulo contorneado proximal: es el más largo, está revestido con epitelio cúbico simple con microvellosidades (llamado también borde en cepillo).

Asa de Henle: es una estructura tubular con una parte delgada y una gruesa, tiene la forma de “U”. Generalmente, la mayor parte del asa delgada es descendente formada por epitelio simple plano y la mayor parte del asa gruesa es ascendente formada por epitelio simple cúbico sin microvellosidades.

Túbulo contorneado distal: posee epitelio cúbico simple, sin microvellosidades. Desembocan en los tubos colectores (también con un epitelio simple cúbico).

Fig. 5.20. Segmentos tubulares básicos de la nefrona



Nota: la imagen fue tomado de Guyton, A., y Hall, J. (2011).

5.5.2.3 Funciones del sistema excretor

- Excreción de productos metabólicos de desecho y sustancias químicas tóxicas.
- Regulación del equilibrio hídrico y electrolítico.
- Regulación de la osmolalidad del líquido corporal y de las concentraciones de electrólitos.
- Regulación de la presión arterial.
- Regulación del equilibrio acido-básico.
- Secreción, metabolismo y excreción de hormonas.

5.5.3 APARATO YUXTAGLOMERULAR, ORINA Y VÍAS URINARIAS

El aparato yuxtaglomerular, la formación y excreción de la orina, y las vías urinarias son componentes cruciales del sistema urinario humano, que se encargan de la regulación del equilibrio hídrico y electrolítico, así como de la eliminación de desechos metabólicos. El aparato yuxtaglomerular, localizado en el nefrón renal, desempeña un papel esencial en la regulación de la presión arterial y el volumen sanguíneo mediante la liberación de renina. La orina, formada en los riñones a través de procesos de

filtración, reabsorción y secreción, es transportada por los uréteres hacia la vejiga urinaria para su almacenamiento temporal y finalmente expulsada del cuerpo a través de la uretra. Estas funciones integradas aseguran la homeostasis del medio interno y la eliminación eficiente de sustancias nocivas (Tortora, G. J., & Derrickson, B., 2018).

5.5.3.1 Aparato yuxtaglomerular

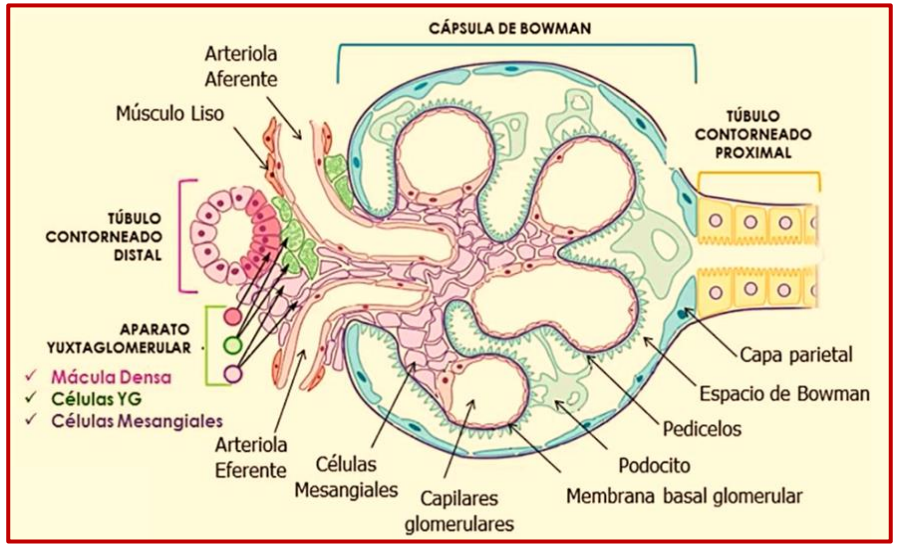
El aparato yuxtaglomerular es una estructura renal conformada por la interacción entre una parte del túbulo contorneado distal y una arteriola aferente. Se encarga de secretar la hormona renina o angiotensinogenasa.

Se distinguen tres tipos de células:

- **Células yuxtaglomerulares:** Sintetizan, almacenan y liberan la renina (hormona que interviene indirectamente en la elevación de la presión arterial), adicionalmente, favorece la activación del sistema Renina - Angiotensina - Aldosterona. Son células diferenciadas que pertenece al endotelio de la arteriola aferente.
- **Células de la mácula densa:** Células diferenciadas pertenecientes al epitelio que reviste el túbulo contorneado distal. Son células cúbicas altas y amontonadas que dejan unos espacios intercelulares amplios que permiten el contacto directo de la orina con la membrana basal. Estas células son sensibles a los cambios de concentración de Cl^- y Na^+ en el líquido de la luz del túbulo.
- **Células mesangiales:** Son células dendríticas que ocupan el espacio limitado por la arteriola aferente, mácula densa, arteriola eferente y el polo vascular del corpúsculo de Malpighi. Presentan capacidad fagocítica, siendo esta su única función.

La renina actúa sobre el angiotensinógeno hepático que se convierte en angiotensina I y esta en angiotensina II (un potente vasoconstrictor). Además, el aparato yuxtaglomerular produce la hormona eritropoyetina que estimula la formación de glóbulos rojos (eritropoyesis).

Fig. 5.21. Aparato Yuxtaglomerular



Nota: imagen fue tomado de Curioseando (*https://curiosoando.com/wp-content/uploads/2016/02/corpusculo_renal.png*)

5.5.3.2 Fisiología de la formación de la orina

La formación de la orina comprende tres procesos principales: filtración, reabsorción y secreción.

Filtración glomerular: Es el pasaje de agua y solutos desde los capilares glomerulares hasta el espacio de Bowman. Se filtran todos los componentes del plasma excepto las proteínas de elevado peso molecular como por ejemplo las albúminas. El filtrado se realiza en la membrana glomerular por una diferencia de presiones (ver Fig. 5.22).

La presión capilar o hidrostática (PH) es la fuerza que permite la salida del plasma, tiene una magnitud de 60 mmHg.

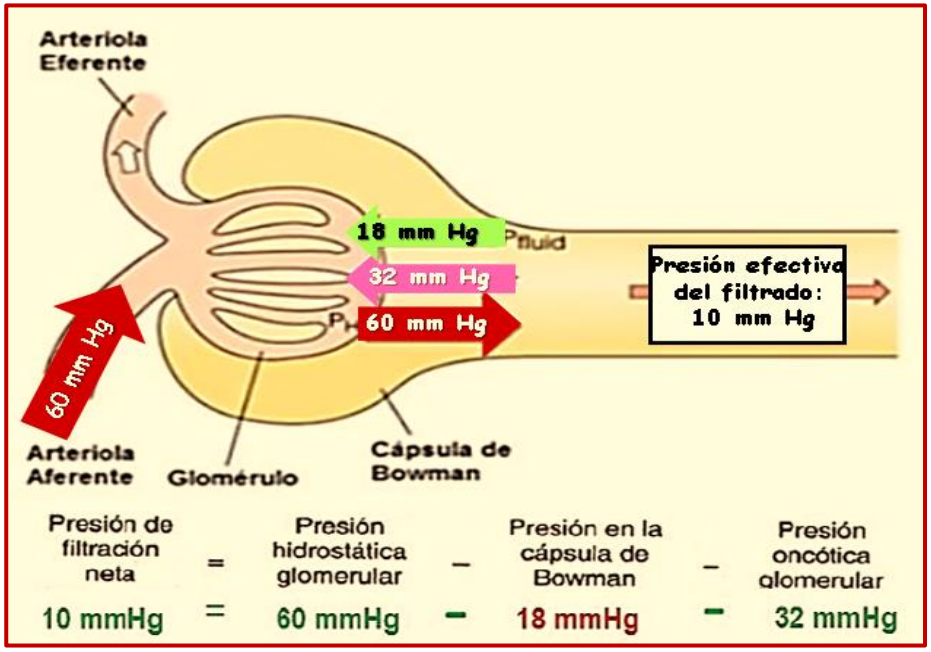
La presión oncótica (PO) es la fuerza que ejercen las proteínas para jalar agua hacia los capilares, esta fuerza se opone a la filtración. Tiene una magnitud de 32 mmHg.

La presión capsular (PC) es la fuerza que ejerce la capsula de Bowman y que se opone al filtrado, tiene una magnitud de 18 mmHg.

Presión efectiva del filtrado: PH – (PO + PC) = 10 mmHg

La Tasa de Filtrado Glomerular (TFG) está entre 120 a 130 mL/min, puede disminuir con la edad hasta 75mL/min aproximadamente.

Fig. 5.22. Fisiología de la filtración glomerular


Arteriola Eferente
18 mm Hg
Pfluid
32 mm Hg
60 mm Hg
Presión efectiva del filtrado: 10 mm Hg
60 mm Hg
Arteriola Aferente
Glomérulo
Cápsula de Bowman
Presión de filtración neta = Presión hidrostática glomerular − Presión en la cápsula de Bowman − Presión oncótica glomerular
10 mmHg = 60 mmHg − 18 mmHg − 32 mmHg

Nota: imagen fue tomada y adaptada de *https://es.slideshare.net/armandopartida/ultrafiltrado-glomerular*

Reabsorción tubular. Es el pasaje de agua y solutos desde los túbulos renales hasta los capilares peritubulares, se reabsorbe el 99 % de lo que se ha filtrado.

En el Túbulo Contorneado Proximal se reabsorbe el 65% del agua por osmosis, el 100% de glucosa y aminoácidos por transporte activo (cotransporte), Na^+, Cl^-, K^+, Mg^{++}, fosfato, el 85% bicarbonato y 50% de urea.

En el asa de Henle se reabsorbe el 15% de agua gracias a las proteínas acuaporinas I en forma pasiva a nivel de la rama descendente. En la rama ascendente delgada se reabsorbe el NaCl y Ca^{++} y en la rama descendente gruesa se reabsorbe Na^+, K^+, Cl^-.

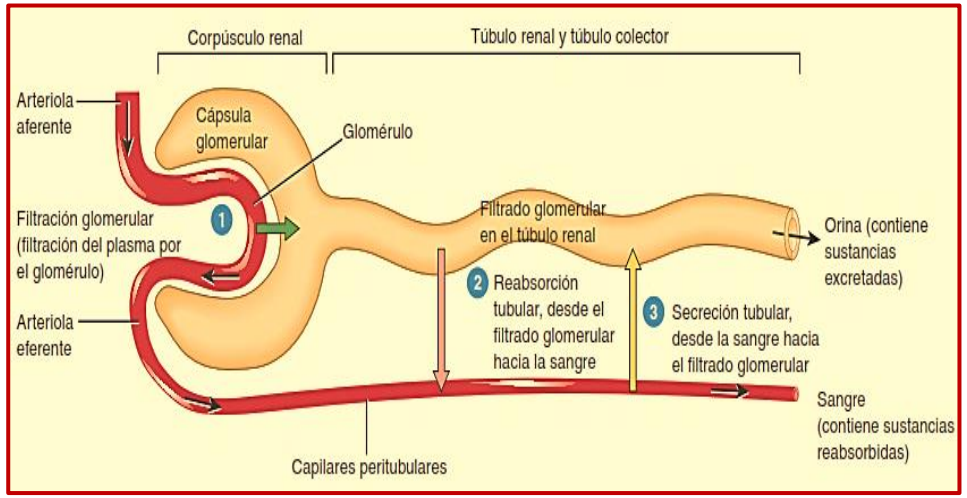
En el Túbulo Contorneado Distal se reabsorbe el 10% de agua y la reabsorción del sodio solo se realiza ante la presencia de la hormona aldosterona que retiene sodio (retiene agua de forma indirecta través de osmosis), a cambio de secreción de potasio.

En el túbulo colector se reabsorbe el 9% de agua que solo se realiza ante la presencia de ADH o vasopresina, además a este nivel se absorbe urea, K^+, Cl^-.

Secreción tubular. Consiste en el paso de sustancias que hay en exceso en la sangre o productos de desecho que no fueron filtrados, se produce directamente desde los capilares peritubulares y tubos rectos hacia los túbulos renales. Dentro de las sustancias que ingresan a túbulos renales están la urea, sales biliares, oxalatos, hidrógeno, NH_3, etc. Se debe recordar que todo

lo que queda en la orina al final del proceso se elimina al exterior y esto se denomina excreción.

Fig. 5.23. Relación entre la estructura y la fisiología de una nefrona.


Corpúsculo renal
Túbulo renal y túbulo colector
Arteriola aferente
Cápsula glomerular
Glomérulo
Filtración glomerular (filtración del plasma por el glomérulo)
1
Filtrado glomerular en el túbulo renal
Orina (contiene sustancias excretadas)
2 Reabsorción tubular, desde el filtrado glomerular hacia la sangre
3 Secreción tubular, desde la sangre hacia el filtrado glomerular
Arteriola eferente
Sangre (contiene sustancias reabsorbidas)
Capilares peritubulares

Nota: imagen fue tomada y adaptada de Principios de anatomía y fisiología humana (p.1076), por Tortora y Derrickson, 2018, Editorial Médica Panamericana

5.5.3.3 Orina

Las características principales de la orina son:

- Volumen de producción: 800 a 1500 cc/día.
- pH: 5 a 7 (en promedio 6.5)
- Olor: Sui generis
- Color amarillo pálido: Se debe a la presencia de urocromo y urobilina
- Espuma: Se forma escasamente al agitarla. Si aumenta indica presencia de glucosa, proteínas o sales biliares.

Dentro de la composición normal de la orina se incluye agua (90%) y solutos (10%).

Los solutos pueden ser:

Solutos inorgánicos: Cristales, Na^+, K^+, Ca^{++}, H^+, cloruros, HCO^-, amonio, etc.

Solutos orgánicos:

- Urea: Se forma por el metabolismo proteico y de aminoácidos a nivel hepático.
- Ácido úrico: Se forma por el metabolismo de los ácidos nucleicos. Su exceso y acumulación a nivel de las articulaciones desencadena la enfermedad llamada Gota.
- Creatinina: Se forma por el metabolismo de las fibras musculares.

Dentro de la composición anormal de la orina encontramos:

- Glucosa (Glucosuria). Ejemplo: por diabetes mellitus.
- Proteínas (Proteinuria). Ejemplo: por infecciones renales.
- Sangre (Hematuria). Ejemplo: por cálculos renales.
- Otros: Pus (Piuria). Ejemplo: por infecciones en el tracto nefro-urinario.

5.5.3.4 Vías urinarias

Las vías urinarias están conformadas por una serie de estructuras que facilitan la concentración, transporte y expulsión de orina, dentro de las cuales se encuentran:

a) **Cálices:** Tienen la forma de pequeños tubos membranosos, llamados cálices menores, encontramos 9 en promedio por riñón. Se reúnen entre sí para formar conductos colectores más voluminosos llamados cálices mayores, en donde encontramos por lo común tres cálices mayores. Los cálices tienen como función la recepción de la orina de las pirámides de Malpighi.

b) **Pelvis renal:** Es un receptáculo aplanado que tiene por función colectar y drenar la orina hacia los uréteres.

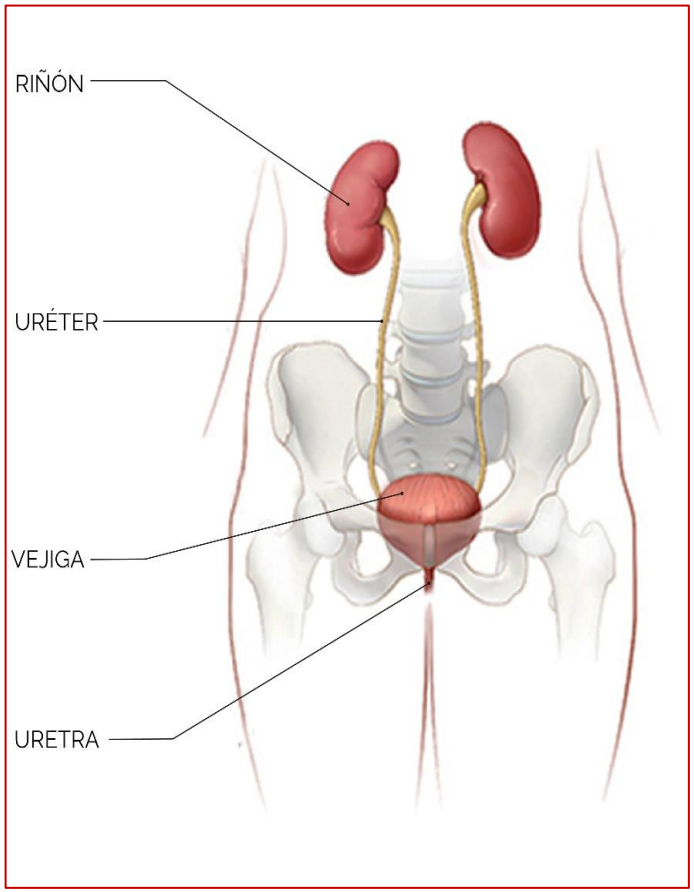
c) **Uréteres:** Son conductos estrechos de paredes gruesas, de unos 25 a 30 centímetros de largo y de 4 a 5 milímetros de diámetro. Transportan la orina desde los riñones hasta la vejiga urinaria. Se encuentran detrás del peritoneo, el revestimiento del abdomen y la pelvis, y están unidos a él por tejido conectivo (Robson et. al., 2020).

d) **Vejiga Urinaria:** Es un órgano muscular hueco que se comunica con la uretra, tiene como función almacenar la orina y permitir su expulsión (micción).

e) **Uretra:** Es un conducto fibromuscular que sirve para dar paso a la orina desde la vejiga urinaria hasta el exterior.

La mayor parte de las vías urinarias está cubierta internamente por epitelio de transición o polimorfo, en caso de la uretra este epitelio solo en su porción inicial.

Fig. 5.24. Vías Urinarias



Nota: imagen fue tomada y adaptada de *https://blogs.ugto.mx/enfermeriaenlinea/unidad-didactica-10-el-aparato-urinario/*

BIBLIOGRAFÍA

1. Becerra-Verdín, E., Rodriguez-Cervantes, C., Tomas, A.-R., & Jorge, F.-M. (2017). *Manual básico de fisiología*. ECORFAN.
2. Guyton, A., & Hall, J. (2011). *Fisiología gastrointestinal*. Elsevier España.
3. Guyton, A., & Hall, J. (2011). *Los líquidos corporales y los riñones*. Elsevier España.
4. Hightower, N. C., Dworken, H. J., Keeton, W. T., & Sircus, W. (2020). Human digestive system. In *Encyclopedia Britannica*. Retrieved from https://www.britannica.com/science/human-digestive-system
5. Junqueira, L., & Carneiro, J. (2015). *Histología básica*. Editorial Médica Panamericana.
6. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (2009). *Anatomía del aparato digestivo* (Edición segundo semestre). Facultad de Ciencias – Instituto de Biología, Laboratorio de Antropología Física y Anatomía Humana, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

7. Robson, J., Vay, D., & Mitchell, G. (2020). Renal system. In *Encyclopedia Britannica*. Retrieved from https://www.britannica.com/science/human-renal-system
8. Sensoy, I. (2021). A review on the food digestion in the digestive tract and the used in vitro models. *Current Research in Food Science*. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.04.004
9. Sepúlveda, J., & Soto, A. (2014). *Texto y atlas de histología: Biología celular y tisular*. Interamericana Editores, S. A. de C. V.
10. Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

TEMA 6: SISTEMA RESPIRATORIO, CIRCULATORIO Y ECOLOGÍA

Nuestro cuerpo es una máquina extraordinaria en esta semana, nos exploraremos dos de los sistemas vitales: el respiratorio y el circulatorio. Además, echaremos un vistazo a la ecología, la ciencia que estudia las relaciones entre los seres vivos y su entorno, los sistemas respiratorio y circulatorio están relacionados estrechamente con la ecología. El aire que respiramos proviene del ecosistema, y la salud de los ecosistemas es esencial para mantener la calidad del aire.

6 SISTEMA RESPIRATORIO, CIRCULATORIO Y ECOLOGÍA

6.1 SISTEMA RESPIRATORIO

6.1.1 SISTEMA RESPIRATORIO EN ANIMALES VERTEBRADOS

El sistema respiratorio de los vertebrados es el conjunto de órganos que permiten el intercambio de gases entre el organismo y el medio ambiente. Este intercambio es fundamental para la vida, ya que proporciona al cuerpo el oxígeno que necesita para funcionar y elimina el dióxido de carbono, un producto de desecho. (Randal, 2017)

Los órganos del sistema respiratorio varían en función del grupo de vertebrados, pero todos ellos comparten algunas características básicas. Todos los vertebrados tienen pulmones o branquias, que son los órganos donde se produce el intercambio de gases. También tienen vías respiratorias, que son los conductos que transportan el aire hacia los pulmones o branquias y desde ellos. Los pulmones y las branquias están conectados a la cavidad torácica o cámara branquial, que es un espacio que alberga estos órganos. (Kardong & Phyle, 2015)

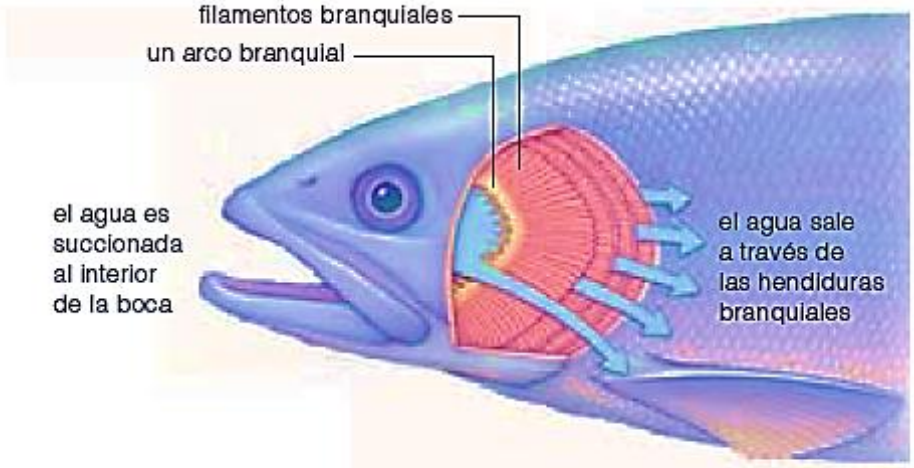
6.1.1.1 Sistema respiratorio en peces

Los peces, al igual que todos los seres vivos, necesitan oxígeno para respirar. Sin embargo, a diferencia de los animales terrestres que extraen el oxígeno del aire, los peces obtienen el oxígeno del agua a través de sus branquias. Las branquias son órganos especializados que se encuentran a ambos lados de la cabeza del pez.

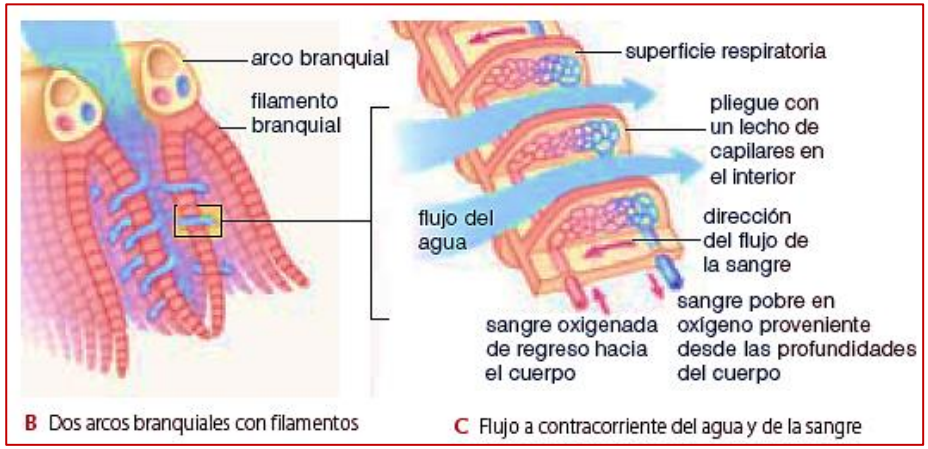
Las branquias funcionan de la siguiente manera: (Fig..6.1)

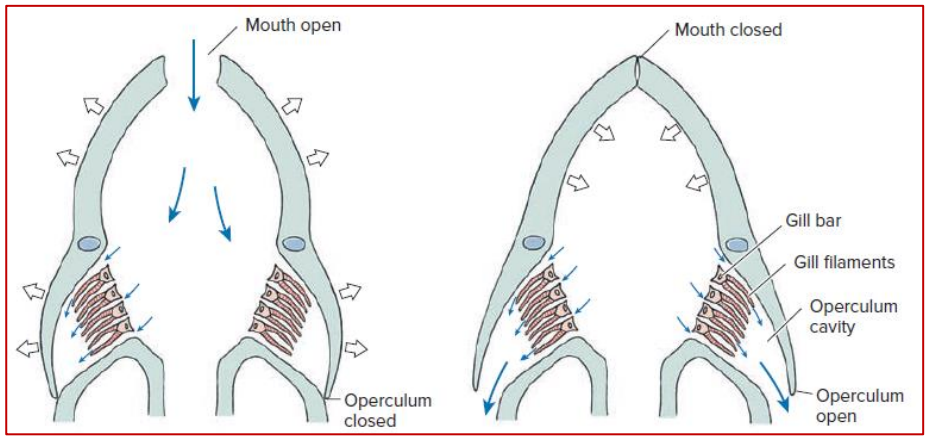
1. **Entrada de agua:** El pez abre la boca y aspira agua, la cual ingresa a la cavidad bucofaríngea.
2. **Paso por las branquias:** El agua fluye desde la cavidad bucofaríngea hacia las branquias a través de las aberturas branquiales.
3. **Intercambio de gases:** Dentro de las branquias, se encuentran miles de filamentos branquiales, estructuras delgadas y muy vascularizadas (llenas de vasos sanguíneos). El agua que pasa por las branquias entra en contacto con la sangre presente en los filamentos. Por difusión, el oxígeno presente en el agua atraviesa las membranas celulares para incorporarse a la sangre, al mismo tiempo el dióxido de carbono contenido en la sangre se libera hacia el medio acuático.
4. **Salida de agua:** El agua, ahora con menos oxígeno y más dióxido de carbono, sale de las branquias y la cavidad opercular, expulsándose por la abertura opercular.

Fig. 6.1. Estructura y función de las branquias de un pez óseo.


filamentos branquiales
un arco branquial
el agua es succionada al interior de la boca
el agua sale a través de las hendiduras branquiales

A Un pez óseo mostrando sus branquias. El agua fluye al interior a través de su boca, que fluye sobre las branquias y después sale a través de las hendiduras branquiales. Cada branquia tiene arcos óseos branquiales con muchos delgados filamentos branquiales unidos.


arco branquial
filamento branquial
superficie respiratoria
pliegue con un lecho de capilares en el interior
flujo del agua
dirección del flujo de la sangre
sangre oxigenada de regreso hacia el cuerpo
sangre pobre en oxígeno proveniente desde las profundidades del cuerpo
B Dos arcos branquiales con filamentos
C Flujo a contracorriente del agua y de la sangre



Fuente: Starr et al. 2013; Hickman et al. 2023

Existen dos tipos principales de branquias en los peces: (Fig. 6.2)

- **Branquias hendidas:** En condrictios (tiburones, rayas y quimeras). Sus branquias no están protegidas por un opérculo y se abren directamente al exterior a través de cinco pares de hendiduras branquiales, la primera de las cuales se denomina espiráculo.
- **Branquias operculadas:** En osteíctios, son las más comunes y se encuentran en la mayoría de los peces óseos. Presentan una cámara que alberga 4 pares de branquias, las cuales están resguardadas por estructuras conocidas como opérculos.

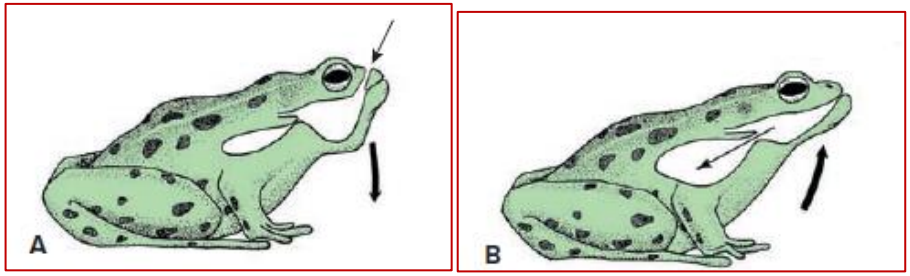
6.1.1.2 Sistema respiratorio en anfibios

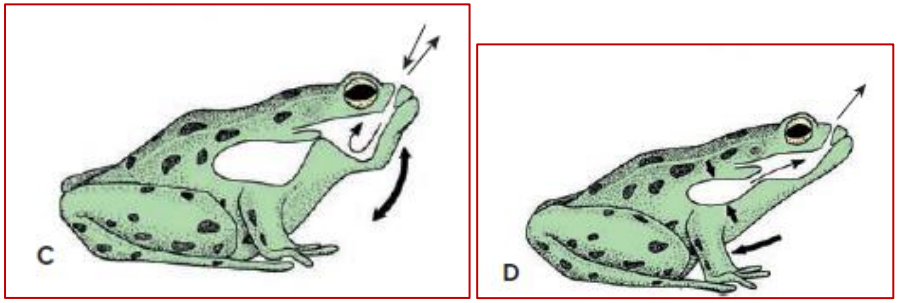
Los anfibios, como ranas, sapos, salamandras y cecilias, tienen un sistema respiratorio que les permite respirar tanto en el agua como en la tierra, así tenemos:

- **Respiración cutánea:** La piel de los anfibios es muy permeable y juega un papel importante en la respiración. La piel está recubierta por una delgada capa de moco, que contribuye a mantenerla hidratada. El oxígeno del aire se difunde a través de la piel y entra en los capilares sanguíneos que se encuentran cerca de la superficie. El dióxido de carbono presente en la sangre se difunde hacia el aire y es expulsado al ambiente.

- **Respiración pulmonar:** Los anfibios también tienen pulmones, que son órganos saculares que les permiten respirar aire. Los pulmones están conectados a la boca y la faringe por la tráquea. En los pulmones, el oxígeno del aire se difunde a la sangre y el dióxido de carbono de la sangre se difunde al exterior.
- **Respiración bucofaríngea:** Algunos anfibios, como las ranas, también pueden respirar a través de la boca y la faringe. Cuando un anfibio inhala, baja el piso de la boca para crear una cavidad bucal grande. El aire ingresa por la boca y llena la cavidad bucal. Luego, el anfibio cierra la boca y eleva el piso de la boca, forzando el aire hacia la faringe.

Fig. 6.2. respiración en los anfibios, las flechas indican los movimientos de la pared corporal, las ranas empujan el aire hacia sus pulmones, en lugar de inhalar como los humanos





Fuente: Starr et al. 2013; Hickman et al. 2023

6.1.1.3 Sistema respiratorio en reptiles

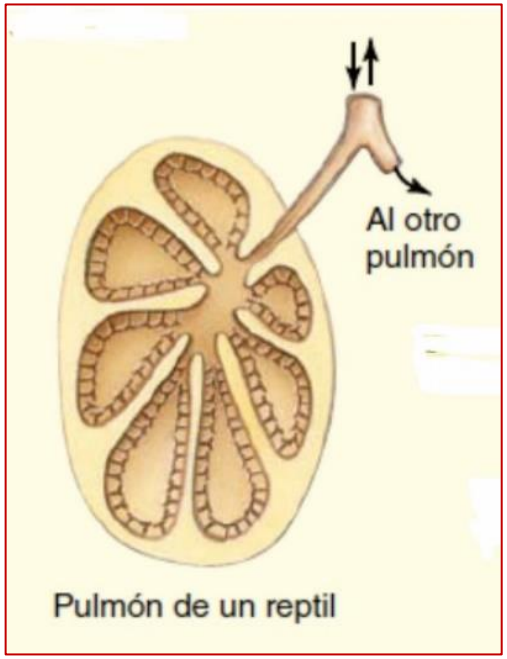
A diferencia de los anfibios, que pueden respirar a través de su piel, los reptiles carecen de esta capacidad debido a la textura áspera y gruesa de su piel. Por ello, su sistema respiratorio es pulmonar, lo que les proporciona una mayor eficiencia en el intercambio de gases. Esta adaptación a la vida en tierra firme ha sido posible, en gran medida, al desarrollo de pulmones más complejos; por otra parte, existe una adaptación para entornos acuáticos.

- **Respiración pulmonar:** En todos los reptiles, la respiración es pulmonar. La presencia de tabiques internos en los pulmones incrementa significativamente el área disponible para el intercambio gaseoso entre el aire y la sangre. En las serpientes, el pulmón derecho es el único funcional; el

izquierdo se encuentra reducido en tamaño y no cumple una función respiratoria.

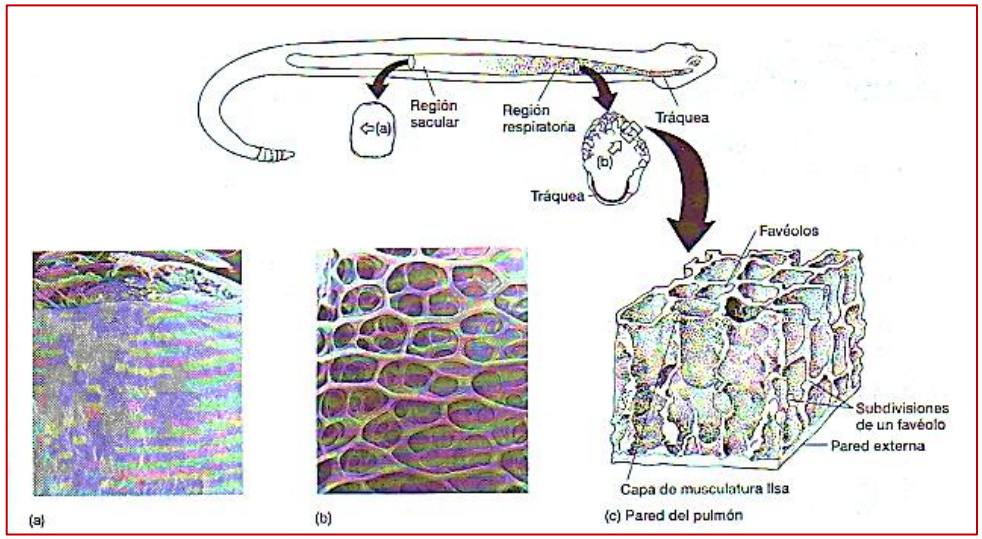
- Respiración cloacal: Las tortugas y las serpientes marinas, además de respiración pulmonar, presentan respiración cloacal; su cloaca vascularizada capta el oxígeno que se halla disuelto en el agua y elimina el carbono.

Fig. 6.3. Esquema general del pulmón de un reptil (pulmón tabicado)



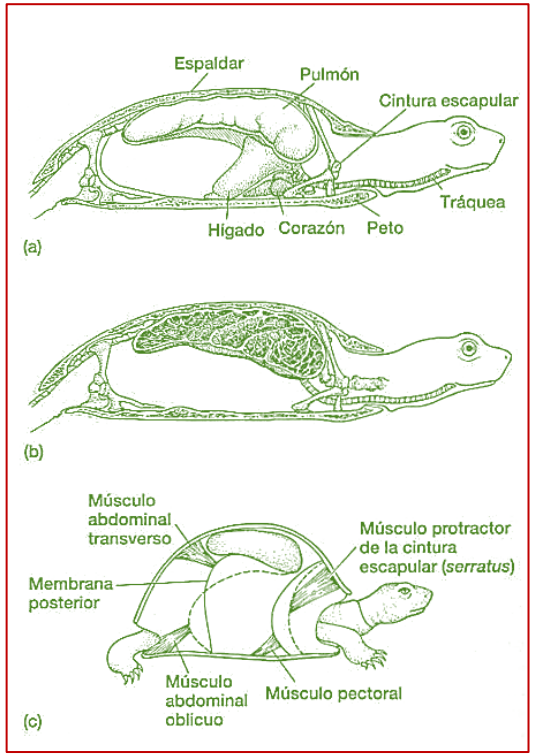
Fuente: Solomon et al. 2013

Fig. 6.4. Único pulmón en una serpiente de cascabel (Crotalus sp.). A. Parte posterior del pulmón, llamada región sacular. B. Superficie interna de la región respiratoria, se aprecian las divisiones llamadas flaveolos. C. Subdivisiones de los flaveolos.



Fuente: Solomon et al. 2013

Fig. 6.5. Respiración en Tortugas. A. Localización de los pulmones. B. Posición de los pulmones en el caparazón. C. Músculos que permiten la contracción y relajamiento de los pulmones

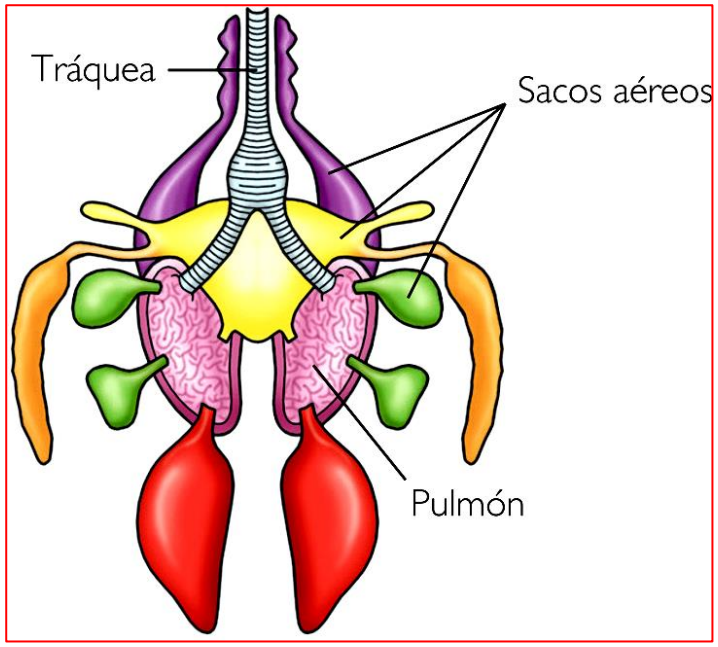


6.1.1.4 Sistema respiratorio en aves

A diferencia de otros vertebrados, las aves tienen un sistema respiratorio único y extremadamente eficiente, diseñado para satisfacer las exigencias energéticas del vuelo y otras actividades de gran intensidad. El intercambio de gases ocurre a través de dos pulmones pequeños, pero altamente eficientes. El oxígeno captado es llevado por la tráquea a los bronquios y de ahí a los pulmones. En los pulmones, el intercambio gaseoso se realiza en los parabronquios y en los capilares aéreos.

Sacos aéreos: Las aves presentan 9 sacos aéreos que actúan como almacén de oxígeno. Debido a que las aves no poseen glándulas sudoríparas, Los sacos aéreos actúan como un sistema de refrigeración natural en las aves, permitiendo la eliminación del exceso de calor. (Fig. 6.3)

Fig. 6.6. Sacos aéreos en aves



Fuente: Fanatomiarembrant.wordpress.com%2F2015%2F02%2F23%2Frespiracion-en-aves-2%2F&psig=AOvVaw1NNOoha5LnSkBl8jgJ5O7I&ust=1717255608305000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCOii6eeZuIYDFQAAAAAdAAAAABAR

A nivel de la división de la tráquea en bronquios se encuentra un órgano fonador llamado siringe, el cual permite el canto característico de las aves.

6.1.1.5 Sistema respiratorio en mamíferos

Todos los mamíferos presentan respiración pulmonar. Los pulmones son parenquimatosos y se caracterizan por ser lobulados. Los pulmones se alojan en la cavidad pleural, limitados por el diafragma, que es un músculo que interviene en la ventilación pulmonar. El proceso de intercambio gaseoso tiene lugar en los alvéolos pulmonares. La producción de sonidos vocales depende de la vibración de las cuerdas vocales, localizadas en la laringe.

Fig. 6.7. Sistemas respiratorios en vertebrados

Fuente: (https://animalesvertebrados.net/respiracion

6.1.2 SISTEMA RESPIRATORIO HUMANO

El aparato respiratorio humano es un conjunto de órganos y estructuras que permiten la captación de oxígeno del aire y la eliminación de dióxido de carbono, un producto de desecho del metabolismo celular. Este aparato contribuye con la homeostasis al ocuparse del intercambio gaseoso (oxígeno y dióxido de carbono), así como el ajuste del pH en los líquidos corporales (Tortora y Derrickson, 2022), también interviene en la defensa del organismo, mediante el reflejo del estornudo y la tos.

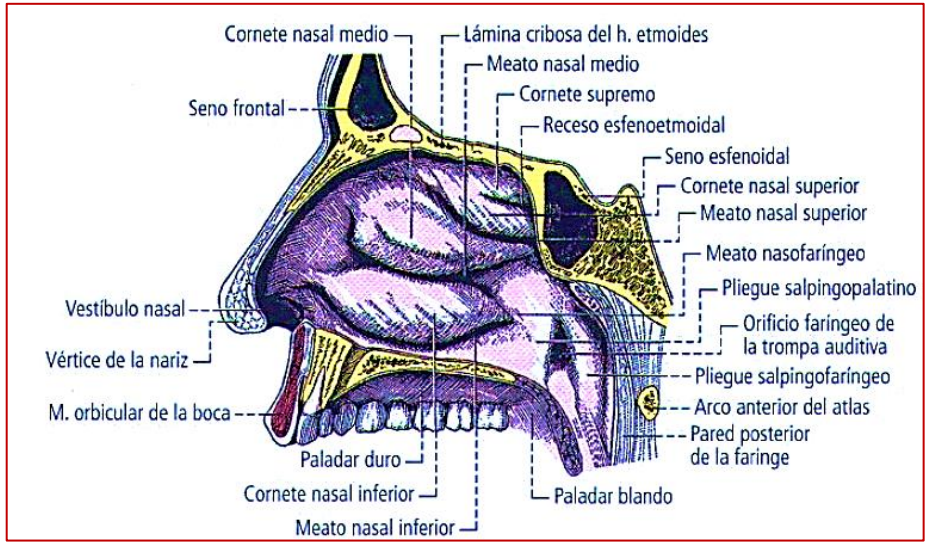
El aparato respiratorio está constituido por dos partes principales: las vías respiratorias, que conducen el aire, y los pulmones, donde se produce el intercambio gaseoso.

6.1.2.1 Vías respiratorias

Constituyen una serie de cavidades y tubos que permiten el paso del aire hacia los pulmones. Está formado por:

a) **Fosas nasales:** Son dos cavidades alargadas que se encuentran separadas por el tabique nasal, localizadas en la parte media de la cara, debajo del cráneo y encima del paladar. El revestimiento de la cavidad nasal está compuesto por dos tipos distintos de mucosa:

Fig. 6.8. Fosas Nasales



Fuente: Lartajet & Liar 2011

- **Mucosa respiratoria (Pituitaria roja):** Ubicada en los dos tercios anteriores de las fosas, es de color rojo (vascularizado) y tiene como función el acondicionamiento del aire inspirado, es decir, lo calienta, purifica y humedece.
- **Mucosa olfatoria (Pituitaria amarilla):** Ubicada en el un tercio posterior, es de color amarillo y tiene como función el olfato.

Funciones:

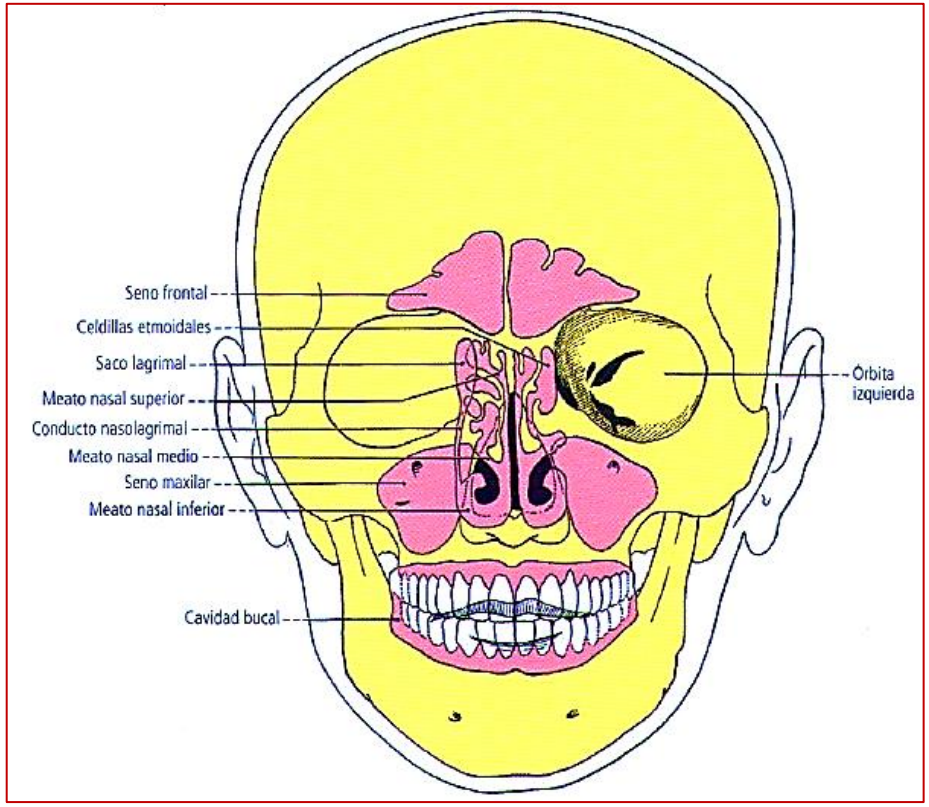
- Transporte del aire
  - Actúa como caja de resonancia para la voz
  - Filtra, calienta y humedece el aire inspirado.

b) **Senos paranasales:** Son cavidades óseas llenas de aire localizadas en los huesos: frontal, esfenoides, etmoides y maxilar superior (Fig. 6.6) que se comunican con la cavidad nasal, están revestidas por la mucosa respiratoria y su inflamación provoca sinusitis.

Función:

- Calentar y humedecer el aire inspirado, así como ser cajas de resonancia de la voz.

Fig. 6.9. Senos paranasales



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Senos_paranasales

c) **Faringe (garganta):** Es un tubo muscular que se comunica con las fosas nasales, cavidad oral, laringe y esófago; se ubica delante de las vértebras cervicales y detrás de las fosas nasales y boca. Presenta tres porciones:

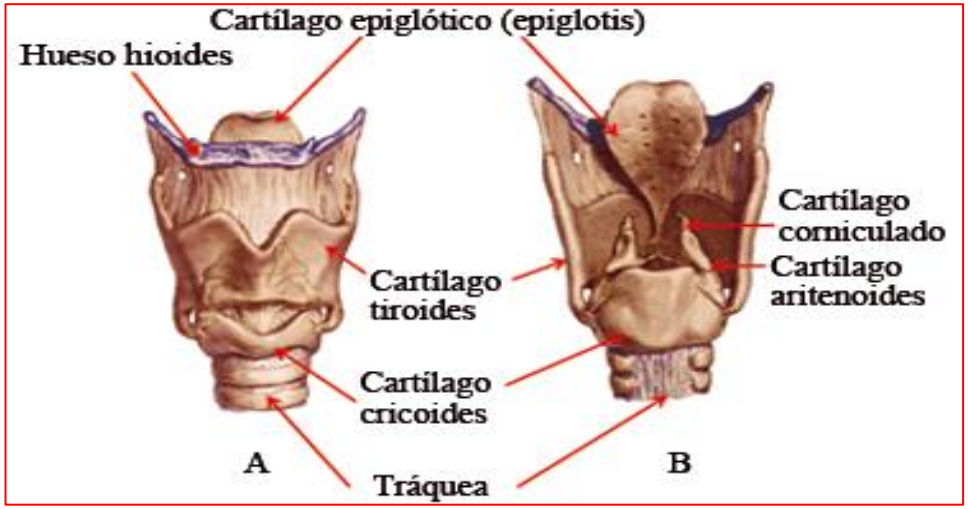
- **Nasofaringe (Rinofaringe, epifaringe):** Porción superior, localizada detrás de las fosas nasales, en cuyas paredes encontramos cuatro aberturas: los dos orificios nasales (coanas) y dos orificios auditivos (trompas de Eustaquio). En la pared posterior se encuentra también la amígdala faríngea. Es una vía respiratoria.
- **Orofaringe (Bucofaringe, faringe media):** Porción media, se localiza por detrás de la boca, donde se encuentran las amigadas palatinas. Es una vía respiratoria y digestiva.
- **Laringofaringe (Hipofaringe, faringe inferior):** Porción inferior, se localiza por detrás de la laringe. Es una vía respiratoria y digestiva.

Función:

- Es una vía transportadora del aire.

d) **Laringe (órgano de la voz):** Es un corto pasaje que conecta la faringe con la tráquea, está formada por nueve cartílagos: tres impares (tiroides, epiglotis y cricoides) y tres pares (aritenoides, corniculados y cuneiformes). Las cuerdas vocales, ubicadas en la laringe, vibran para crear sonidos. Su tensión determina el tono: más tensión, tono más agudo; menos tensión, tono más grave. La laringe, gracias al flujo de aire, produce los sonidos que conforman nuestra voz.

Fig. 6.10. Cartílagos de la laringe



Fuente: https://.ademto.org%2Farticulos%2Fla-laringe-conociendo-cuerpo%2F&psig=AOvVaw3NJQEBz0XrU2AT9BveeeWC&ust=1717269808151000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCLDL7tjOuIYDFQAAAAAdAAAAABAE

Funciones:

- Purifica el aire inspirado.
- Actúa como una barrera para evitar que los alimentos pasen a las vías respiratorias.

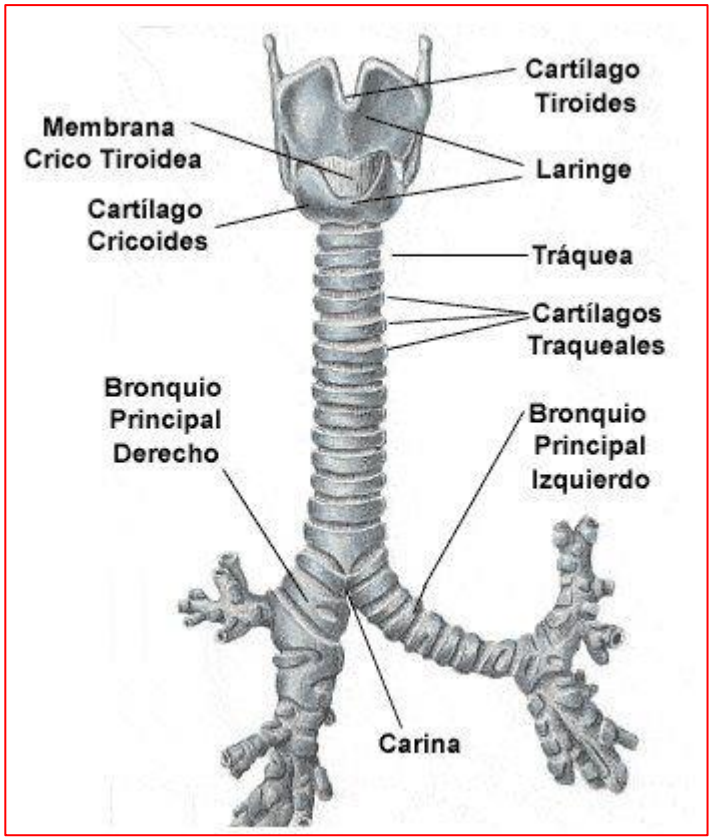
- Produce el sonido.

e) **Tráquea:** Es un pasaje tubular que se extiende desde la laringe hasta los bronquios principales, derecho e izquierdo. Se sitúa en la cavidad torácica, específicamente en posición anterior al esófago y posterior al esternón. Está formada por músculo traqueal y semianillos cartilaginosos (aproximadamente 16 - 20) en forma de C. La tráquea termina en el último semianillo cartilaginoso llamado Carina, desde la cual se originan los bronquios que conducen el aire a los pulmones. La mucosa traqueal está constituida por un epitelio pseudoestratificado cilíndrico ciliado con células caliciformes, el cual cumple la función de transporte del moco. Este epitelio proporciona protección contra el polvo atmosférico (Tortora y Derrickson, 2022).

Función:

- Transporte y purificación del aire inspirado.

Fig. 6.11. Anatomía de la tráquea



Fuente: https://pinterest.com%2Fpin%2F457403710938061 5%2F&psig=AOvVaw13kWRAWtjhYIbyKrTVBzn4&ust=1717270088184000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCJj4lOHPuIYDFQAAAAAdAAAAABAE

f) **Bronquios:** Son conductos cartilaginosos que se originan como consecuencia de la bifurcación de la tráquea, a nivel de la cuarta vértebra dorsal.

Son de los siguientes tipos:

- **Bronquio primario o principal:** Son dos conductos que se originan en la bifurcación de la tráquea y se dirigen hacia cada pulmón. Tienen una estructura similar a la tráquea, con anillos cartilaginosos incompletos, pero son más estrechos y el derecho es ligeramente más ancho que el izquierdo. Están revestidos por epitelio seudoestratificado cilíndrico ciliado.
- **Bronquios secundarios o lobares:** Resultan de la división de los bronquios primarios, uno por cada lóbulo del pulmón (el pulmón derecho tiene tres lóbulos y el izquierdo dos). Los bronquios secundarios están revestidos por epitelio monoestratificado cilíndrico ciliado.
- **Bronquios terciarios o segmentarios:** Resultan de la división de los bronquios lobares, cada uno ingresa a un segmento del pulmón (10 en el pulmón derecho y 8 en el pulmón izquierdo).

A medida que los bronquios se ramifican la cantidad de cartílago disminuye y aumenta la cantidad de musculo liso.

Función:

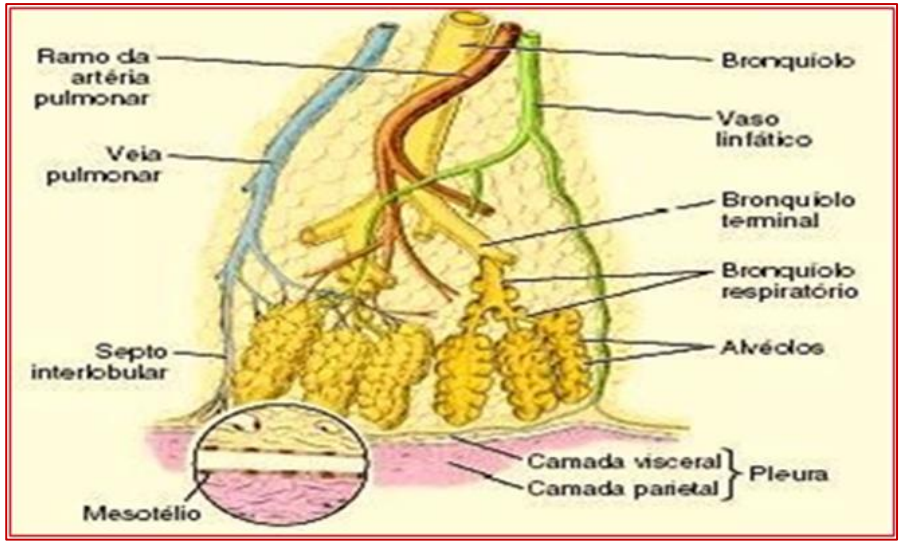
- Transportan y purifican el aire inspirado.

g) **Bronquiolos:** Son conductos muy pequeños que resultan de la división de los bronquios segmentarios y se caracterizan por carecer de cartílago de soporte y miden 1 mm o menos de diámetro. Cada bronquiolo lleva aire a una pequeña parte del pulmón llamada lobulillo pulmonar. Los bronquiolos tienen epitelio monoestratificado cilíndrico ciliado y una capa bien desarrollada de músculo liso en las paredes (Saladin, 2013).

Función:

- Transportan y purifican el aire inspirado.

Fig. 6.12. Lobulillo pulmonar

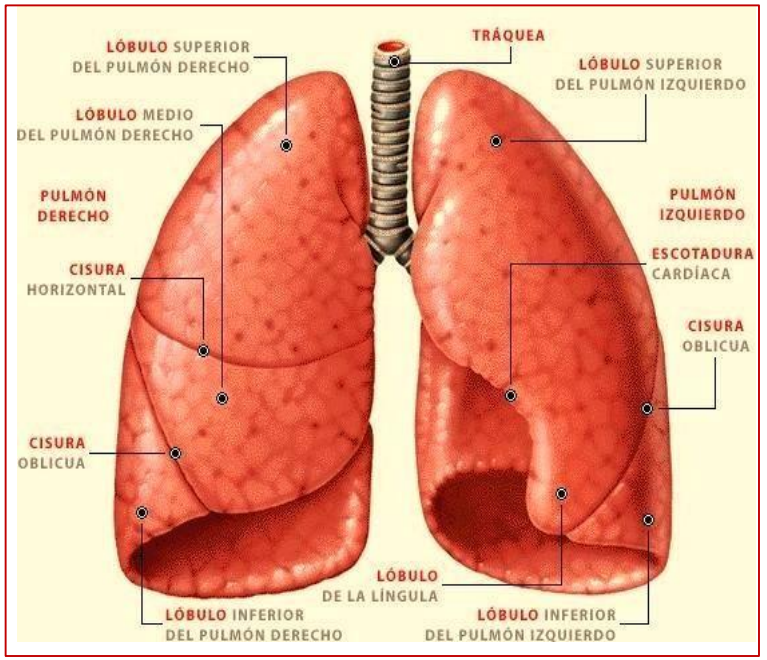


Fuente: https://userscontent2.emaze.com/images/643b31df-c9db-43c0-94ec-56f2f23954b7/dea501fa002c7df00abb863ad1 ede2be .png

6.1.2.2 Pulmones

Son órganos pares, de forma cónica, ocupan la cavidad torácica; separados uno del otro por el corazón. Son blandos, esponjosos y elásticos. El pulmón derecho tiene tres lóbulos y 2 cisuras (horizontal y oblicua) mientras que el izquierdo posee dos lóbulos y una cisura (Oblicua) (Drake et al., 2013).

Fig. 6.13. Pulmones

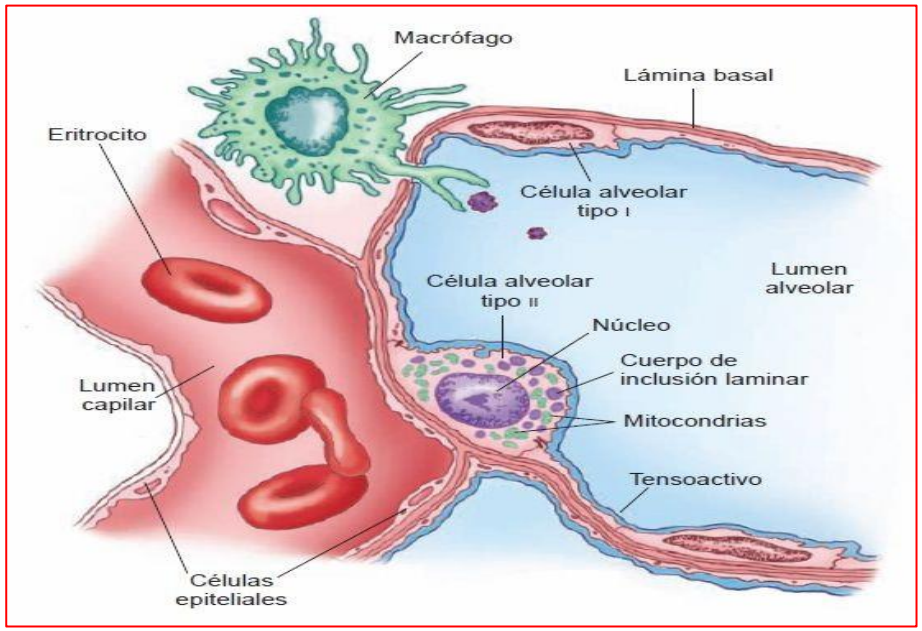


Fuente: https://t1.up.ltmcdn.com/es/images/4/9/0/partes_de_los_pulmones_4094_1_600.jpg

Los pulmones están cubiertos por una membrana serosa denominada pleura, la cual presenta dos hojas: la hoja externa llamada pleura parietal y la hoja interna llamada pleura visceral; existiendo entre ellas un espacio denominada cavidad pleural, en cuyo interior se encuentra el líquido pleural que proporciona lubricación a los pulmones durante los movimientos respiratorios.

Dentro de los pulmones, los bronquios se ramifican en vías respiratorias cada vez más pequeñas y numerosas que son los bronquiolos, cada uno de ellos desemboca en un racimo de diminutos sacos aéreos llamados alvéolos, los cuales son responsables del intercambio gaseoso.

Fig. 6.14. Estructura del alveolo pulmonar



Fuente: https://enfermeria.top/apuntes/fisiopatologia/sistema-respiratorio/35-9.png

Los alveolos son sacos microscópicos, separadas por delgadas paredes interalveolares, a través de las cuales se produce el intercambio gaseoso con los capilares sanguíneos. La pared de los alveolos presenta los siguientes tipos celulares: (Fig. 6.11)

- **Neumocitos I:** Son células epiteliales planas. Forman la pared alveolar y permiten el intercambio gaseoso.
- **Neumocitos II:** Llamados también células septales, son cuboides a redondeados, poseen microvellosidades que secretan el líquido alveolar que mantiene húmeda la superficie de la pared alveolar. También elaboran el líquido surfactante o agente tensioactivo, que es una mezcla compleja principalmente de fosfolípidos y lipoproteínas que tiene por función mantener abierto el alveolo, es decir, disminuye la tensión superficial del líquido alveolar, la cual reduce la tendencia de los alveolos a colapsarse.
- **Macrófagos alveolares:** Llamados también células del polvo. Se encargan de fagocitar microorganismos y finas partículas de polvo, que llegan al interior de los alveolos.

El intercambio gaseoso se produce a través de las membranas alveolo-capilares.

6.2 SISTEMA CIRCULATORIO

6.2.1 SISTEMA CIRCULATORIO EN VERTEBRADOS

El sistema circulatorio animal es un conjunto de órganos y estructuras que transportan sangre o linfa por todo el cuerpo. Este sistema juega un papel crucial en la vida de los animales, proporcionando a las células los nutrientes y el oxígeno necesarios para funcionar correctamente, y eliminando los productos de desecho del metabolismo.

Funciones:

- Su función principal es el transporte de diversas sustancias y elementos formes de un lugar a otro del organismo de los animales.
- Por medio de la circulación se transporta: oxígeno, electrolitos, dióxido de carbono, desechos nitrogenados, nutrientes, hormonas, etc. (García 2004)
- Participa en el transporte de las células inmunes.
- Regulación de la temperatura.
- Ayuda a la homeostasis manteniendo el equilibro de agua, sales, pH y equilibrio osmótico entre el interior y el exterior de las células.

La circulación de los vertebrados es cerrada y su corazón está dividido en cámaras (tabicado). Cada grupo taxonómico tiene un número distinto de cavidades. Presenta las siguientes variantes:

6.2.1.1 Circulación cerrada, completa y simple

En este tipo de sistema circulatorio la sangre circula por vasos sanguíneos cerrados, impulsada por un corazón, pero sólo pasa una vez por el corazón antes de regresar a los tejidos. Lo presentan:

a) **Peces:** Su corazón impulsa la sangre hacia las branquias, luego circulará hacia los tejidos por una aorta dorsal. Presentan glóbulos rojos nucleados y con hemoglobina. La sangre pasa una sola vez por el corazón y no se mezcla.

En la región ventral del cuerpo de los peces se localiza su corazón, un órgano muscular encargado de bombear la sangre. Se divide en un seno venoso, una aurícula y un ventrículo. El seno venoso junto con la aurícula recibe sangre proveniente de los tejidos, mientras que el ventrículo bombea sangre a las branquias para su oxigenación.

Es un sistema relativamente simple y eficiente para transportar oxígeno y nutrientes a los tejidos. El corazón no requiere de un

gasto cardiaco elevado como en otros sistemas circulatorios. Este tipo de sistema circulatorio es más adecuado para animales acuáticos, ya que las branquias son los órganos respiratorios utilizados para la oxigenación de la sangre.

6.2.1.2 Circulación cerrada, incompleta y doble

La sangre circula por vasos sanguíneos cerrados, sin salir a los espacios corporales. Es incompleta porque la sangre arteria y venosa se mezcla en el corazón, posee dos circuitos, uno pulmonar y otro sistémico. Lo presentan:

a) **Anfibios:** El corazón con 2 aurículas y un ventrículo. La sangre pasa dos veces por el corazón, observándose una mezcla de sangre arterial con sangre venosa en el ventrículo, sin embargo, gracias a la disposición especial de las aurículas y al momento en que se contraen, se minimiza la mezcla de sangre oxigenada y desoxigenada dentro del ventrículo. Presenta glóbulos rojos nucleados con hemoglobina.

   En estado larvario los anfibios presentan una circulación similar a la de los peces.

b) **Reptiles:** El corazón con 2 aurículas y 2 ventrículos (con un tabique incompleto permitiendo la mezcla de sangre); corazón con dos arcos aórticos, derecho e izquierdo, glóbulos rojos nucleados con hemoglobina.

   En los cocodrilos, el tabique que separa los ventrículos está completamente desarrollado. No obstante, cuentan con el Foramen de Panizza, una conexión entre el tronco aórtico derecho y el izquierdo que facilita la mezcla de sangre desoxigenada del ventrículo derecho con sangre oxigenada del ventrículo izquierdo. Este orificio funciona como un paso entre ambos ventrículos cuando el cocodrilo permanece sumergido por un período prolongado. (cuando el cocodrilo está en la superficie el foramen de Panizza se encuentra cerrado). Presenta dos arcos aórticos.

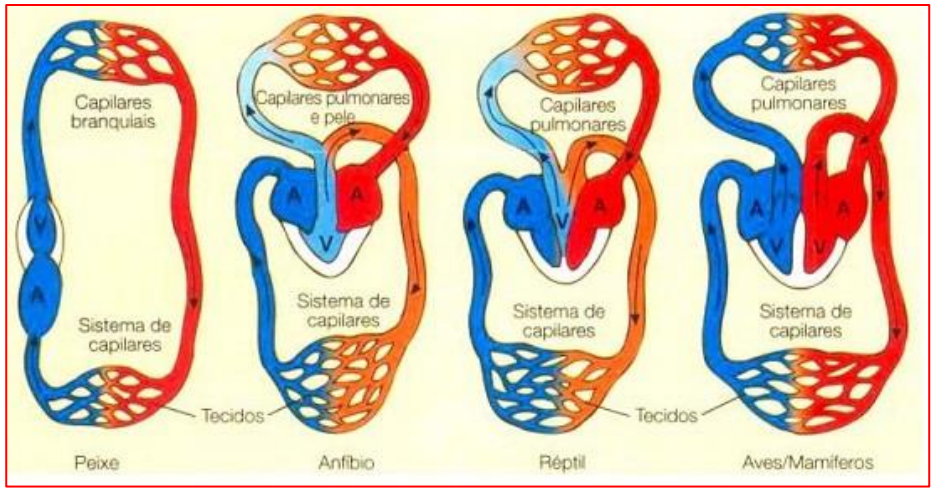
6.2.1.3 Circulación cerrada, completa y doble

La sangre circula por vasos sanguíneos cerrados, sin salir a los espacios corporales, esta pasa dos veces por el corazón antes de regresar a los tejidos, aquí tenemos dos circuitos: pulmonar y sistémico. Lo presentan:

a) **Aves:** Tienen un corazón con cuatro cavidades. La sangre venosa y la arterial no se juntan en el corazón, además, los glóbulos rojos tienen núcleo. El corazón presenta arco aórtico derecho.

b) **Mamíferos:** Corazón con cuatro cavidades. No hay mezcla de sangres. A diferencia de las aves, los glóbulos rojos carecen de núcleo y contienen una mayor concentración de hemoglobina. Corazón con arco aórtico izquierdo.

Fig. 6.15. Circulación en vertebrados



Fuente: https://artpictures.club/autumn-2023.html

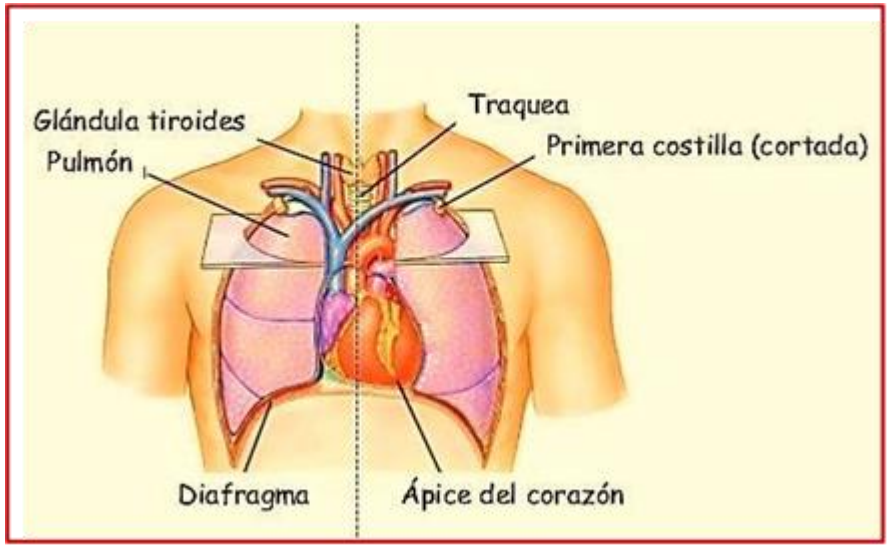
6.2.2 SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO

Está formado por:

- El sistema cardiovascular, por el cual circula la sangre.
- El sistema linfático, por el que circula la linfa.

Sistema cardiovascular, está formado por el corazón, que es una bomba muscular, y un sistema cerrado de vasos (arterias, venas y capilares) que transportan sangre.

Fig. 6.16. Posición del corazón



Fuente: https://zonahospitalaria.com/wpcontent/uploads/2019/07/Pleuras2.jpg

6.2.2.1 Sangre

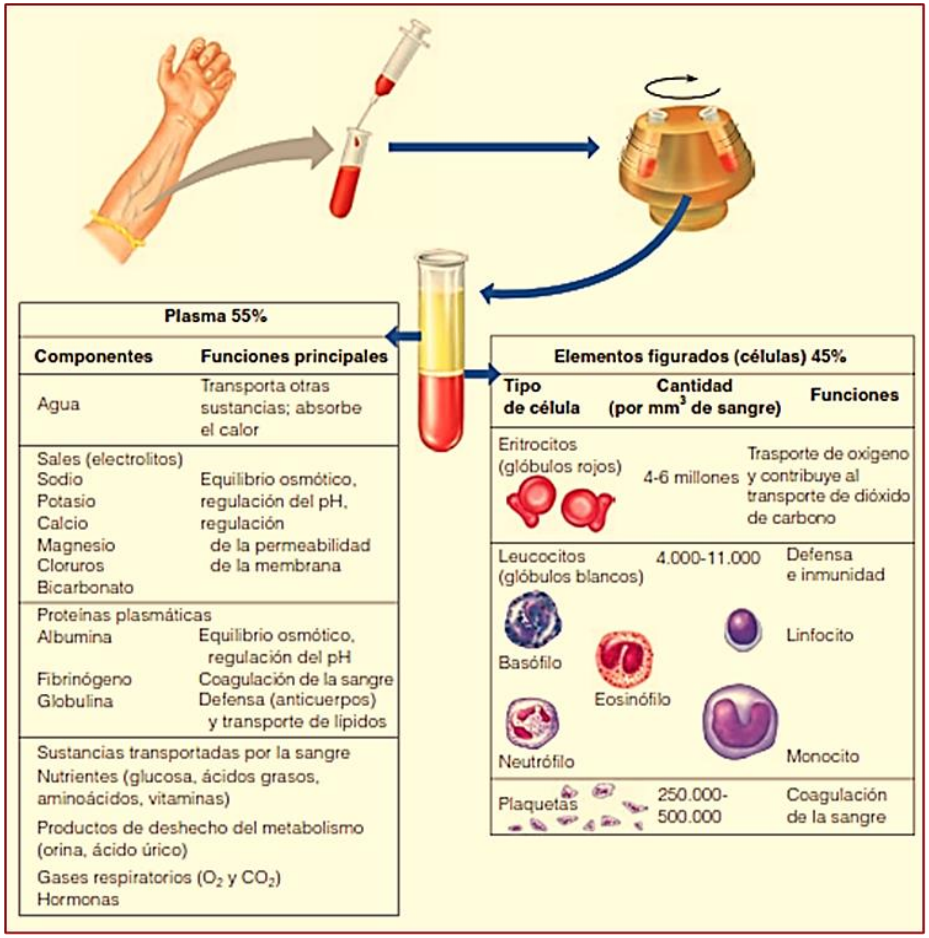
La sangre es un tejido conectivo en estado líquido, compuesto por una matriz extracelular líquida y células especializadas (elementos formes). La sangre es de color rojo debido al pigmento hemoglobina y es ligeramente alcalina (pH=7,35 -7,45).

El volumen corporal de sangre (volemia), es equivalente al 8% del peso corporal aproximadamente, esto en un varón con un peso promedio de 70 Kg. El cual tendrá aproximadamente cinco litros de sangre. Se encuentra constituida por dos partes: el plasma y las células.

6.2.2.1.1 El plasma

Es un líquido citrino (amarillento) que constituye aproximadamente el 55% de la sangre. El plasma, que está formado en un 90% por agua, es la parte líquida de la sangre. En este fluido se encuentran disueltas más de cien sustancias diferentes. Algunos ejemplos de sustancias disueltas en la sangre incluyen nutrientes, electrolitos (sales), gases respiratorios, hormonas, proteínas del plasma, así como diversos desechos y productos generados por el metabolismo celular (Marieb, 2008). La mayoría de las proteínas que componen el plasma sanguíneo son sintetizadas en el hígado, salvo los anticuerpos y las hormonas proteicas.

Fig. 6.17. Componentes de la sangre

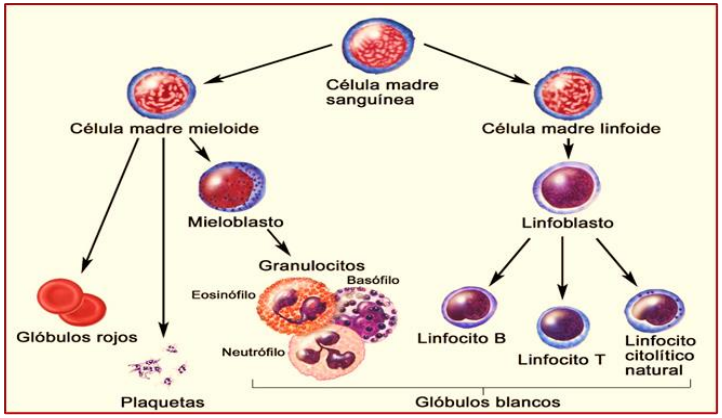


Fuente: Anatomía y Fisiología Humana (p.341), Marieb E., 2008, Editorial Pearson Educación

6.2.2.1.2 Células sanguíneas o elementos formes:

Las células o elementos formes son: glóbulos rojos. glóbulos blancos y plaquetas. La hematopoyesis, también conocida como hemopoyesis, es el proceso por el cual se producen las células sanguíneas, incluyendo glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Este complejo proceso se lleva a cabo principalmente en la médula ósea roja, aunque también ocurre en otros órganos como el bazo y el hígado durante el desarrollo fetal y en algunas situaciones patológicas.

Fig. 6.18. Hematopoyesis



Fuente: *https://www.facebook.com/C.LabCentro/photos/a.190276538386948/222846751796593/)*

a) **Glóbulos rojos (eritrocitos/hematíes):**

Los eritrocitos actúan como vehículos que transportan el oxígeno, esencial para la respiración celular, desde los órganos respiratorios hacia las células de todos los tejidos, garantizando así el suministro continuo de este elemento.

Son discos bicóncavos de color salmón; sin núcleo; literalmente, sacos de hemoglobina; también contienen muy pocos orgánulos.

La hemoglobina (Hb), una proteína recubierta de hierro, transporta la mayor parte del oxígeno de la sangre, aunque también aporta una pequeña cantidad de dióxido de carbono que se combina con la hemoglobina formando carbaminohemogloblina.

Se encuentra en promedio entre 4 a 6 millones por mm3 en la sangre.

b) Glóbulos blancos (leucocitos)

Son células que utilizan la sangre para su transporte desde la médula ósea hasta los lugares principales de su actividad. Los leucocitos se dividen en granulocitos y agranulocitos.

- **Granulocitos:**

- **Neutrófilos:** Cantidad en la sangre es de 3000-7000 mm3, son los más abundantes, Forma entre el 60-70% del total de glóbulos blancos. Son manchas de color rosa pálido en el citoplasma que contienen pequeños gránulos, que son difíciles de ver; el núcleo de color púrpura, consta de tres a siete lóbulos conectados por hebras finas del nucleoplasma.

  Su función es la de fagocitos activos; ingieren y destruyen a los microorganismos invasores en los tejidos, la cantidad total aumenta rápidamente en caso de infecciones.
- **Eosinófilos (acidófilos):** Cantidad en la sangre es de 100-400 mm3, forma entre el 2-4% del total de los glóbulos blancos. Son gránulos citoplasmáticos de color rojo intenso; núcleo bilobular azulgranate.

  Su función es la de eliminar los parásitos con enzimas digestivas; aumentan en los ataques de alergia; pueden fagocitar complejos antígeno-anticuerpo e inactivar algunos químicos inflamatorios.
- **Basófilos:** Cantidad en la sangre es de 20-50 mm^3, forma entre el 0,5-1% del total de los glóbulos blancos. Su citoplasma tiene algunos gránulos grandes azul purpúreo; núcleos azules con forma de U o de S.

  Su función es la de liberar histamina (vasodilatador químico) en zonas con inflamación; contienen heparina y anticoagulante.

- **Agranulocitos**
  - **Linfocitos**: Cantidad en la sangre es de 1.500-3.000 mm^3. Representan el 20-25% del total de los leucocitos. Los linfocitos tienen un núcleo de color púrpura que abarca la mayor parte de la célula. Son un poco más grandes que los eritrocitos y suelen estar presentes en los tejidos linfáticos, donde cumplen una función crucial en la respuesta inmune. Los linfocitos son los segundos leucocitos más numerosos de la sangre.

    Su función es la de formar parte del sistema inmunitario; un grupo (linfocitos B) produce anticuerpos; otro grupo (linfocitos T) involucrado en el rechazo de injerto, lucha contra los tumores y los virus, atacando directamente a la célula.
  - **Monocitos:** Cantidad en la sangre 100-700 mm^3, representa el 3-8% del total de los glóbulos blancos.

    Son células con forma de riñón, que se encuentran en la sangre circulante sólo 4 días y luego emigran hada el

tejido conectivo transformándose en macrófagos quienes se encargan de la fagocitosis.

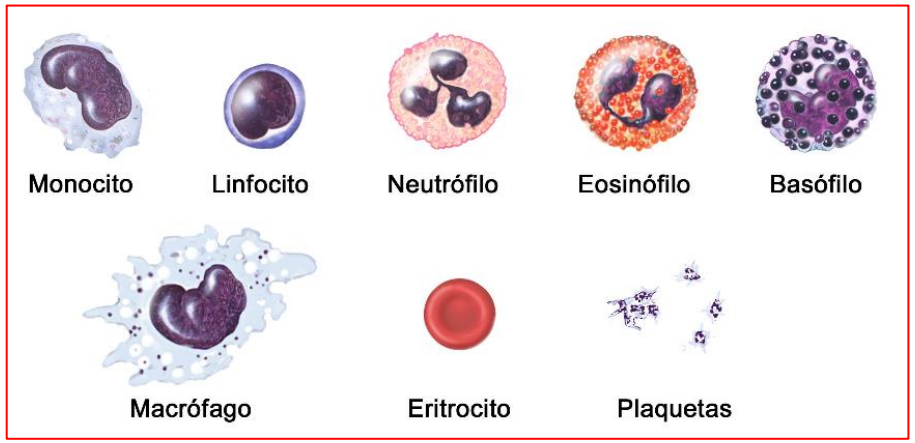
Su función es la de ser fagocitos activos que se convierten en macrófagos en los tejidos; “equipos de limpieza” a largo plazo; aumentan en número durante infecciones crónicas como la tuberculosis.

c) Plaquetas

También conocidos como trombocitos, son componentes celulares que se generan a partir de la fragmentación de unas células gigantes llamadas megacariocitos. Participan en el proceso de coagulación sanguínea al liberar tromboplastina, que, en combinación con calcio y vitamina K, convierte la protrombina en trombina. Esta, a su vez, transforma el fibrinógeno en fibrina. Las redes de fibrina atrapan a las células de la sangre y constituyen el coágulo.

La cantidad normal de plaquetas en sangre es de 300.000/ mm^3.

Fig. 6.19. Elementos formes de la sangre



Fuente:
https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/eritrocito

6.2.2.2 El corazón

Órgano muscular hueco situado en la cavidad torácica entre los dos pulmones llamada mediastino. (Suarez, 2021) Tiene la forma de un cono con la base dirigida hacia arriba, atrás y a la derecha y el vértice situado adelante y a la izquierda. Descansa sobre el diafragma y es mantenida en su posición por los grandes vasos que salen de su base y por el pericardio de doble hoja que lo envuelve y lo mantiene unido a la pleura y al mismo diafragma. Pesa más o menos entre 250 a 300 gramos y mide 10 cm de alto,

10 cm de ancho y 7 cm de espesor. Cuando se relaja (Diástole) atrae hacia si la sangre que circula en las venas y al contraerse (Sístole) expulsa la sangre hacia las arterias aorta y pulmonar. (Latarjet 2008)

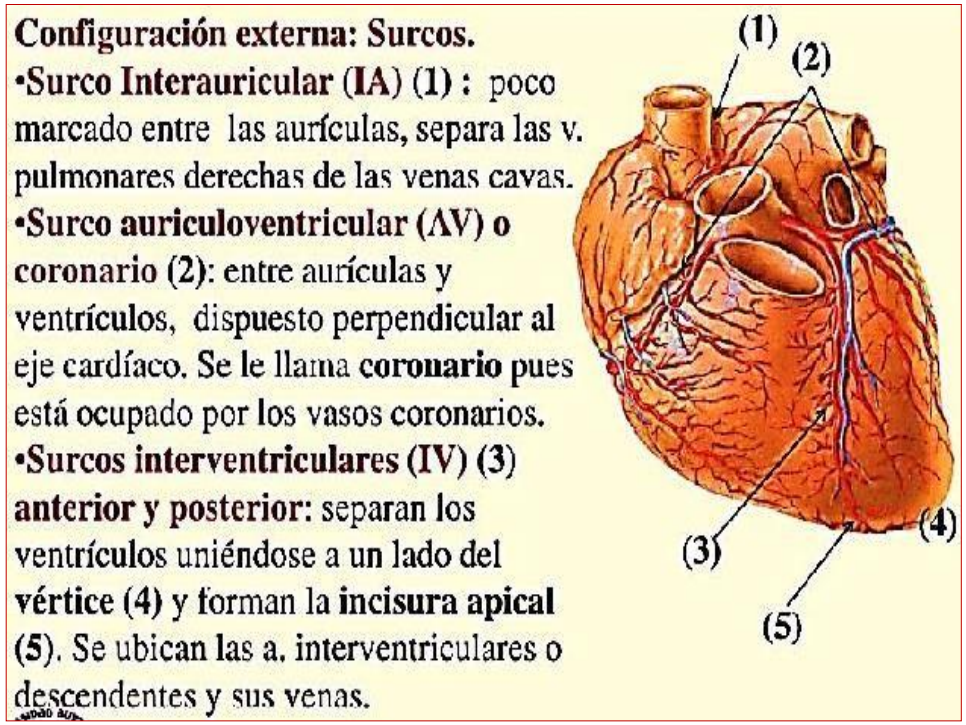
6.2.2.2.1 Anatomía externa

Presenta los surcos:

- **Surco interauricular,** es muy poco marcado y el límite no resulta evidente entre las dos aurículas cuando se examina la superficie del corazón. (Latarjet 2008)
- **Surco coronario**, separa de manera evidente las aurículas de los ventrículos se, se dispone en un plano oblicuo hacia abajo y a la derecha, de tal forma que los ventrículos están situados adelante y las aurículas a la izquierda. (Latarjet 2008)
- **Los surcos interventriculares**, con dirección general cóncava hacia atrás, pasan a la derecha de la punta del corazón. El surco interventricular posterior se encuentra con el surco coronario y contribuye a la formación del surco cruciforme cuya rama superior es poco marcada. El surco interventricular anterior contiene a la arteria interventricular anterior y a la vena cardiaca magna (Latarjet 2008).

La irrigación sanguínea del corazón se realiza a través de los vasos coronarios que discurren por estas estructuras.

Fig. 6.20. Anatomía externa del corazón


Configuración externa: Surcos.
•Surco Interauricular (IA) (1) : poco marcado entre las aurículas, separa las v. pulmonares derechas de las venas cavas.
•Surco auriculoventricular (AV) o coronario (2): entre aurículas y ventrículos, dispuesto perpendicular al eje cardíaco. Se le llama coronario pues está ocupado por los vasos coronarios.
•Surcos interventriculares (IV) (3) anterior y posterior: separan los ventrículos uniéndose a un lado del vértice (4) y forman la incisura apical (5). Se ubican las a. interventriculares o descendentes y sus venas.
(1)
(2)
(3)
(4)
(5)

Fuente: *https://image.slidesharecdn.com/corazonprimera-120614080512-phpapp01/95/corazon-primera-5- 728.jpg?cb=1339661331*

6.2.2.2.2 Anatomía interna

Presenta cuatro cavidades: 2 aurículas y 2 ventrículos:

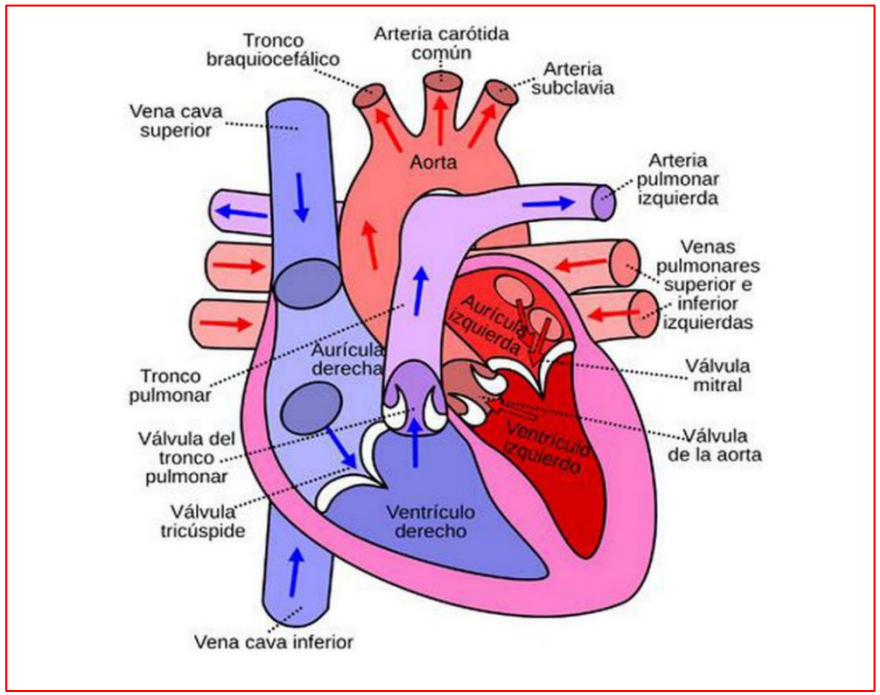
a) **Aurícula Derecha:** Es una cavidad de pared delgada que soporta una presión baja, presenta tres orificios, donde desembocan la vena cava superior, por arriba y la vena cava inferior, por abajo, con su válvula de Eustaquio, el seno venoso coronario con su válvula de Thebesio. Separando la vena cava superior de la vena cava inferior se encuentra el tubérculo de Lower. Presenta la orejuela con sus músculos Pectineos. Las orejuelas incrementan la superficie auricular para que reciban un mayor volumen sanguíneo. La aurícula derecha se comunica con el ventrículo derecho mediante la válvula auriculo- ventricular derecha o tricúspide (tres valvas). La fosa oval, una pequeña depresión que se encuentra en el tabique interauricular y está circunscrita por el anillo de Vieussens. (Jiménez-Castellanos, 2007)

b) **Aurícula Izquierda:** Es de menor volumen que la derecha, recibe las 4 venas pulmonares procedentes del pulmón derecho e izquierdo. Comunica el ventrículo izquierdo mediante la válvula auriculo- ventricular izquierda o mitral o bicúspide (2 valvas).

c) **Ventrículo Derecho:** Tiene la forma de una pirámide irregular cuyo eje mayor está dirigido hacia abajo. Presenta los músculos papilares o columnas carnosas, de aquí llegan numerosas cuerdas tendinosas que salen de la valva anterior de la válvula tricúspide. (Latarjet 2008) Da origen al tronco pulmonar que luego se divide en dos arterias pulmonares una para cada pulmón. En su origen el tronco pulmonar presenta las válvulas sigmoideas o semilunares con los nódulos de Morgagni en los vértices de cada valva. Facilita el flujo sanguíneo hacia la arteria pulmonar en la fase de sístole.

d) **Ventrículo Izquierdo:** De paredes más gruesas que el ventrículo derecho, ya que debe ejercer mayor presión para bombear sangre a todo el cuerpo, se observa al igual que en el ventrículo derecho las columnas de primer, segundo y tercer orden. Da origen a la arteria Aorta en cuyo origen se observa la válvula sigmoidea aortica con sus nódulos de Arancio en los vértices de las valvas constituyentes. Las válvulas sigmoideas aórticas forman los senos de Valsalva por donde se originan los vasos Coronarios responsables de la irrigación del corazón.

Fig. 6.21. Anatomía interna del corazón



Fuente:
https://images.qdq.com/Br3oTqPK4WmrZy0HDWN7799FB5U=/1050x875/smart/filters:format(JPEG)/photos/647/647822721/734109b2b2e844fa879ce5a033d01966.jpg

6.2.2.2.3 Histología cardiovascular

El corazón está formado por el pericardio y la pared cardiaca

a) **Pericardio:** Es un saco fibroso de doble pared que encierra el corazón, se divide en dos partes fundamentales: el pericardio fibroso y el pericardio seroso. (Moore, 2007)

- **El Pericardio Fibroso:** Es la capa superficial (externa) está compuesto por tejido conjuntivo denso irregular (fibroso) poco elástico y resistente. Protege al corazón contra la repleción súbita porque es poco extensible y está relacionada con los grandes vasos que ingresan o salen de él (Moore, 2007), y fija el corazón al mediastino.
- **El Pericardio Seroso:** Está compuesto por una capa única de células aplanadas que reviste la superficie interna del pericardio fibroso como la superficie del corazón (Moore, 2007. forma una doble capa alrededor del corazón), Es la capa profunda (interna), delgada y delicada que envuelve al corazón. La capa más externa del pericardio seroso se denomina hoja parietal, la más interna la hoja visceral, que también recibe el nombre de epicardio la cual se adhiere fuertemente al músculo cardiaco del corazón, entre ambas hojas existe un espacio llamado cavidad pericárdica por donde circula líquido pericárdico, que tiene función lubricante (reduce

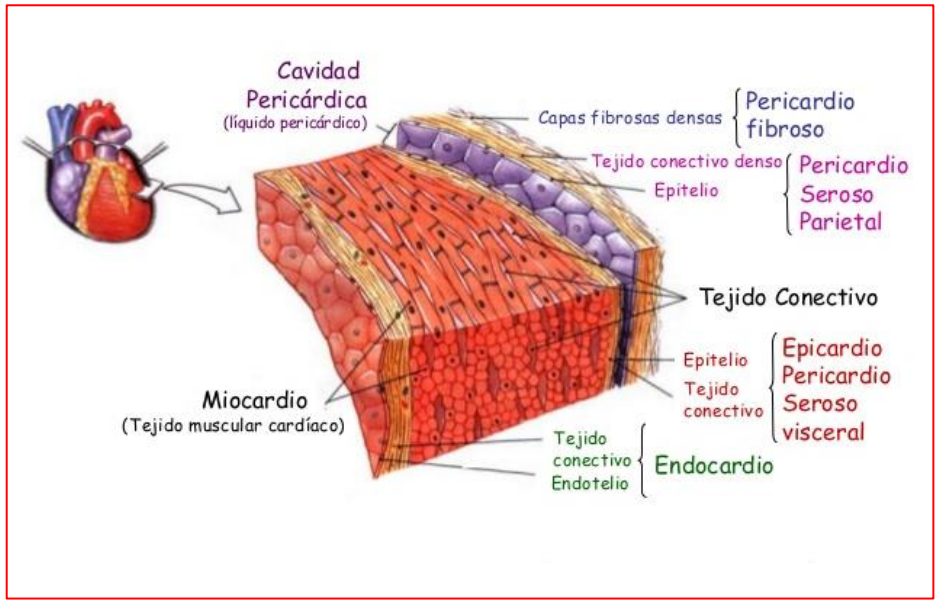
el rozamiento entre las membranas cuando se mueve el corazón).

b) **Pared Cardiaca:** La pared cardiaca del corazón se divide en tres capas:

- **Epicardio (externa):** Denominado también hoja visceral del pericardio seroso, es una lámina muy delgada y transparente formada por mesotelio y tejido conjuntivo que le proporciona una textura suave y lisa. Protege al corazón y las arterias coronarias.
- **Miocardio (media):** Formado por tejido muscular cardiaco, confiere el volumen al corazón y es responsable de la acción de bombeo.

  El músculo cardiaco tiene estriaciones, las células cardíacas son uninucleadas, relativamente cortas y ramificadas, que se enlazan entre sí estrechamente (como los dedos apretados) en uniones llamadas discos intercalados (contienen uniones gap), gracias a estas uniones especiales, las señales eléctricas se transmiten rápidamente entre las células del corazón, asegurando una contracción coordinada.
- **Endocardio (interna):** Es una fina capa de endotelio que yace sobre una lámina delgada de tejido conjuntivo. Tapiza las cámaras y válvulas cardíacas. El endocardio, que cubre las cavidades cardíacas, se fusiona con el endotelio de los vasos sanguíneos mayores, asegurando una transición suave del flujo sanguíneo.

Fig. 6.22. Histología del corazón

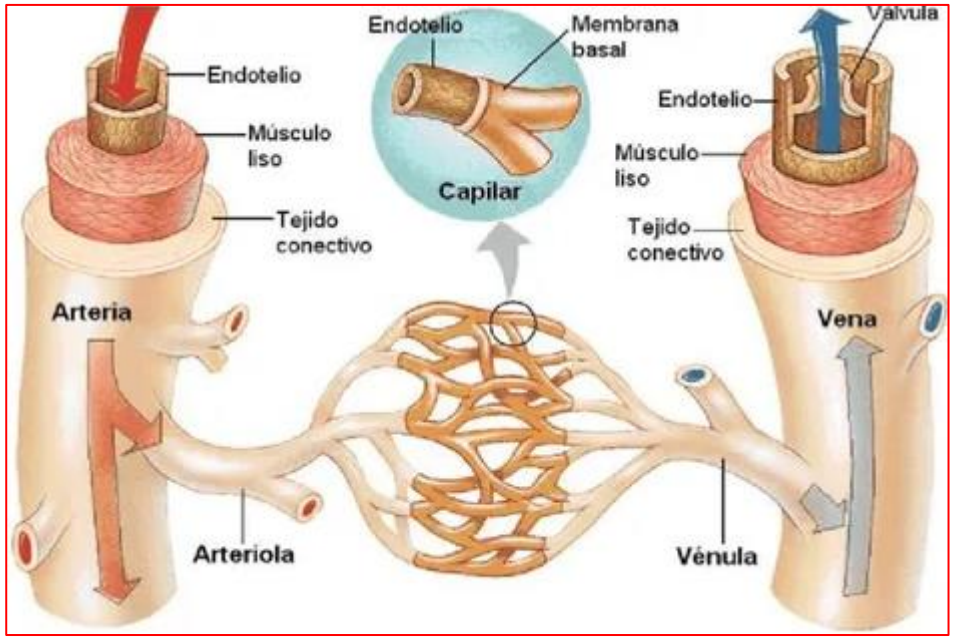


Fuente:https://2.bp.blogspot.com/-C9FlcTN4U-0/VgbGjz43kzI/AAAAAAAAAMg/Fj7Uufowk5k/s1600/corazon-7-638.jpg

6.2.2.3 Vasos sanguíneos

Se componen de tres túnicas, la adventicia (externa), la media (muscular) y la íntima (interna). Realizan una circulación cerrada donde se encuentran 3 tipos de vasos:

Fig. 6.23. Histología de los vasos sanguíneos



Fuente:https://userscontent2.emaze.com/images/cecdc3a2-c92d-4da2-aee8-b090c7a45436/dd6ca449d67d432040ecec276c4a2ad9.png

a) **Arterias:** Son vasos que conducen sangre que nacen del corazón y van a los diferentes tejidos, Por lo general tiene más musculo liso en sus paredes debido a la resistencia vascular. (Hansen 2020). Las principales arterias son:

- Arteria Pulmonar: Que sale del ventrículo derecho y lleva la sangre desoxigenada a los pulmones.
- Arteria Aorta: Sale del ventrículo izquierdo, lleva sangre oxigenada, se ramifica originando a otras arterias entre las que se encuentran:
- Las carótidas: Aportan sangre oxigenada a la cabeza
- Subclavias: Aportan sangre oxigenada a los miembros superiores.
- Hepática: Aporta sangre oxigenada al hígado.
- Esplénica: Aporta sangre oxigenada al bazo.
- Mesentéricas: Aportan sangre oxigenada al intestino.
- Renales: Aportan sangre oxigenada a los riñones.

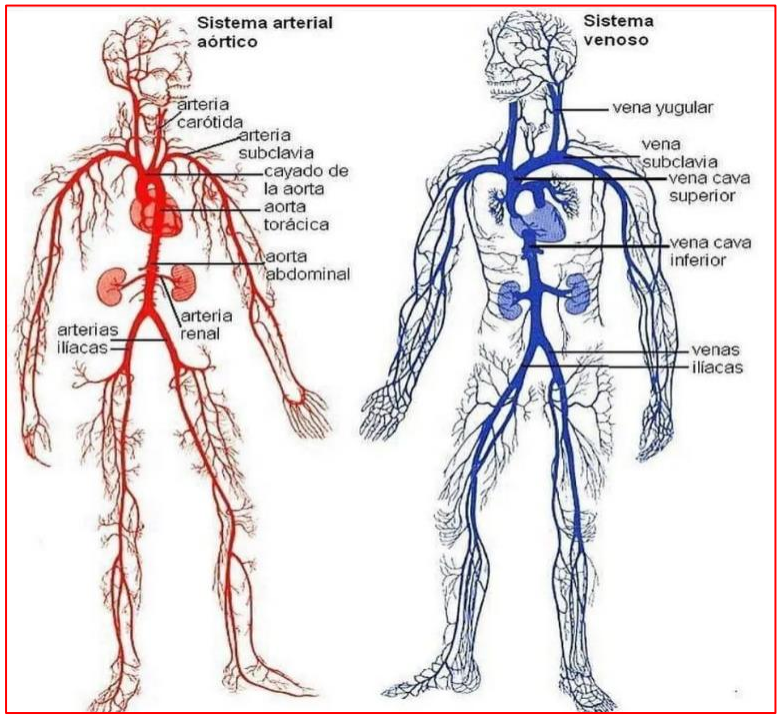
b) **Venas:** Vasos que recogen sangre de los órganos y la llevan al corazón, tienen una capa muscular delgada, son mucho más variables y numerosas que las arterias. (Hansen 2020). Las venas presentan un aspecto nodular (arrosariado) debido a la presencia de válvulas venosas, también llamadas válvulas unidireccionales. Estas son estructuras en forma de semiluna o cúspide que se localizan en la pared interna de las venas, sobre todo en las extremidades inferiores. Su

función principal es evitar el reflujo de la sangre, retornan sangre desoxigenada al corazón en su recorrido va tomando diversos nombres. Las principales venas corporales son:

- Vena yugular.
- Vena subclavia.
- Venas coronarias.
- Vena cava superior (VCS) e inferior (VCI).
- Venas pulmonares.
- Vena renal.
- Vena femoral.
- Vena safena mayor y menor.

c) **Capilares:** Son los más pequeños y unen arterias con venas formando redes de vasos comunicantes. Son los vasos sanguíneos más diminutos de nuestro organismo, son tan finos que sólo permiten el paso de un glóbulo rojo a la vez. A pesar de su pequeño tamaño, los capilares juegan un papel fundamental en el sistema circulatorio, ya que son el punto de encuentro donde se produce el intercambio vital de nutrientes, oxígeno y desechos entre la sangre y los tejidos.

Fig. 6.24. Arterias y venas en el ser humano



Fuente:https://www.modernheartandvascular.com/wp-content/uploads/2023/02/ENL7-imXYAAeMeD-949x1024.jpg

6.3 ECOLOGÍA

La ecología es la ciencia dedicada al análisis de las relaciones entre los organismos y su medio ambiente. Es una ciencia amplia

y compleja que abarca desde el estudio de las moléculas individuales hasta los ecosistemas globales. La ecología nos ayuda a comprender cómo funcionan los ecosistemas, cómo interactúan los diferentes organismos y cómo los cambios en el medio ambiente pueden afectar a los ecosistemas y a las poblaciones.

La ecología al ser una ciencia amplia que se divide en diferentes ramas, cada una de las cuales se centra en un aspecto específico de las interacciones entre los seres vivos y su entorno. Algunas de las ramas más importantes son:

- **Ecología de poblaciones:** Estudia las poblaciones de organismos, como su tamaño, estructura, crecimiento y distribución.
- **Ecología de comunidades:** Estudia las comunidades de organismos, es decir, los grupos de organismos que viven en un mismo lugar e interactúan entre sí.
- **Ecología de ecosistemas:** Estudia los ecosistemas, que son las unidades ecológicas más básicas, formadas por una comunidad de organismos y su entorno físico.
- **Ecología evolutiva:** Estudia cómo la evolución ha dado forma a las interacciones entre los seres vivos y su entorno.
- **Ecología del paisaje:** Estudia los paisajes, que son áreas extensas de la Tierra que están compuestas por diferentes tipos de ecosistemas.
- **Ecología global:** Estudia los ecosistemas a nivel global y cómo los procesos globales, como el cambio climático, afectan a los ecosistemas locales.

6.3.1 NIVELES DE ORGANIZACIÓN ECOLÓGICA

La ecología, se basa en un concepto fundamental: la jerarquía de niveles de organización. Esta jerarquía establece una estructura ordenada en la que los organismos y sus interacciones se organizan en diferentes niveles, desde lo más simple hasta lo más complejo. Estos niveles son:

a) **Individuo:** Es la unidad básica de la ecología, un organismo único como un árbol, un león o una bacteria.
b) **Población:** Un grupo de individuos de la misma especie que viven en la misma área y se reproducen entre sí. Por ejemplo, la población de ciervos en un bosque o la población de bacterias en un intestino.
c) **Comunidad:** Un grupo de poblaciones de diferentes especies que interactúan entre sí en la misma área. Por

ejemplo, la comunidad de plantas y animales de un bosque o la comunidad de microorganismos en el suelo.

d) **Ecosistema:** Una unidad ecológica formada por una comunidad de seres vivos y su entorno físico no vivo. Incluye las interacciones entre los organismos vivos y los factores abióticos como el clima, el agua, el suelo y las rocas. Por ejemplo, un bosque, un arrecife de coral o un estanque.

e) **Bioma:** Un área extensa de la Tierra con un clima y una vegetación similares. Los biomas se definen principalmente por su tipo de vegetación, como la taiga, la sabana o el desierto.

f) **Biósfera:** La capa de la Tierra donde existe vida. Incluye todas las partes del planeta donde se encuentran organismos vivos, desde las profundidades de los océanos hasta la cima de las montañas.

6.3.2 POBLACIÓN

Una población es un grupo de individuos de una misma especie que ocupa un área definida y que procrean entre sí a través de varias generaciones (Begon et al, 1999), por otro lado, la ecología de poblaciones se encarga del estudio de los patrones de distribución y abundancia de organismos (Ranta et al, 2006).

6.3.2.1 Propiedades de la población

La población presenta diversas propiedades que son las siguientes:

a) **Hábitat:** Es el espacio que reúne las condiciones y características físicas y biológicas necesarias para la supervivencia y reproducción de una especie, es decir, para que una especie pueda perpetuar su presencia (Trefethen 1964, Hall et al. 1997), (Storch 2003), quedando descrito por los rasgos que lo definen ecológicamente (Delfín- Alfonso, et al, 2009).

b) **Nicho ecológico:** Se define como la función que una especie desempeña en un ecosistema, generalmente determinada por sus relaciones con otras especies y por su forma de alimentación. La superposición de nichos ecológicos entre dos especies que comparten un mismo hábitat genera una competencia interespecífica que, a largo plazo, resulta en el desplazamiento de una de ellas. (Sánchez, et al, 2010).

6.3.2.2 Elementos formales de una población

a) **La densidad poblacional:** Es el número de individuos por una unidad de espacio (superficie o volumen). Se pueden distinguir dos formas de estimar la densidad: la densidad Bruta o cruda, considerando todo el espacio, y la Específica o ecológica, referida al área efectivamente disponible para la especie (Busch, 2017).

b) **Dispersión:** Es la forma como los individuos se distribuyen en su hábitat. Es de los siguientes tipos:

Fig. 6.25. Dispersión

Agrupada
Muchos organismos se concentran alrededor de sus recursos
Uniforme
Los individuos se encuentran equidistantes unos de otros
Aleatoria
La ubicación de un individuo no afecta la de los demás

Fuente: https://slideplayer.es/slide/14178057/

- **Distribución al azar:** Sin regularidad o grado de afinidad alguna, sólo se da allí donde el ambiente es muy homogéneo y no hay atracción social. Es un caso raro en la naturaleza ya que necesitaría un medio totalmente homogéneo y que los individuos no mostraran ninguna tendencia a la agregación (Morlans, 2004).
- **Distribución uniforme:** Puede observarse cuando la competencia por los recursos es muy aguda (plantas de semidesierto). Una distribución uniforme tiene lugar cuando los animales maximizan la distancia entre sus vecinos, cuando existe una fuerte competencia entre los individuos o cuando hay un antagonismo que obliga a una separación regular entre ellos. Esto implica el establecimiento de territorios (Morlans, 2004).
- **Distribución agrupada:** Es irregular y no fortuita. Se produce como consecuencia de las variaciones locales en el hábitat (microhábitat), donde los organismos buscan la combinación óptima de condiciones. La agregación responde también al modo de reproducción y comportamiento social (Morlans, 2004).

c) **La variabilidad:** No todos los organismos son idénticos. Las diferencias entre ellos surgen de dos factores principales: las variaciones en el material genético que se transmite de una generación a otra y las influencias del entorno que afectan a cada individuo. La variación genética heredada es esencial para la evolución y la selección natural, siendo la base de toda la biodiversidad que se observa en el presente. (Morlans, 2004).

d) **Distribución etaria:** Los diferentes componentes de una población se hallan en diferentes etapas de desarrollo según sus edades. Generalmente se separan en juveniles o pre reproductor, adulto o reproductor y viejos o post reproductores. El porcentaje de las diferentes clases de edad entre los componentes de una población afecta mucho a las posibilidades de multiplicación, y por tanto a su desarrollo evolutivo (Morlans, 2004).

e) **Distribución por sexo:** Indica la composición de la población por el sexo (machos y hembras). Solo en ocasiones excepcionales y por períodos cortos, una población se compone exclusivamente de individuos que se reproducen de forma asexual (vegetativa). Con mayor frecuencia se distinguen poblaciones bisexuales (machos y hembras) o unisexuales (Brack, 2000).

6.3.2.3 Dinámica poblacional

La estructura poblacional se define por los procesos de natalidad, mortalidad y migración (Salaya y Rodriguez, 2014).

6.3.2.3.1 Dinámica de dispersión: Se puede dar de dos formas:

a) **Movimientos dentro de la población** que se realizan en el espacio ocupado por ella. Un ejemplo común de este tipo de comportamiento es, por ejemplo, la separación de las crías de vicuña del grupo familiar a partir de los ocho meses de vida. Los machos se integran en manadas de jóvenes, mientras que las hembras se unen a otros grupos familiares.

b) **La migración** se produce cuando una población o parte de ella abandona o coloniza un espacio, distinguiéndose varias formas:

- **La emigración:** Proceso mediante el cual los individuos abandonan una población.
- **La inmigración:** Proceso mediante el cual los individuos ingresan a otra población que no era la inicial.

- **La permigración:** Cuando sólo pasan por el área sin ocuparla.
- **La invasión:** Ocupación de un área ocupada por otra población.
- **La translocación:** Cambio total de área, que incluye el abandono de una pasada, que realizan las poblaciones.

6.3.2.3.2 Dinámica de densidad:

Es la variación en la cantidad de individuos de una población dentro de un área específica. Los cambios en la densidad pueden ser progresivos (con mayor concentración en una región y una disminución paulatina hacia los bordes) o pueden manifestar fluctuaciones en ciertas áreas debido a factores como el clima, la geografía (pendientes, llanuras), el tipo de suelo, la vegetación y el equilibrio alimenticio, entre otros. En el caso de la vicuña, se observa una mayor densidad en áreas con mayor disponibilidad de pastos y agua.

6.3.2.3.3 Dinámica del crecimiento poblacional:

Tasa a la que aumenta la población debido a la diferencia entre natalidad y mortalidad.

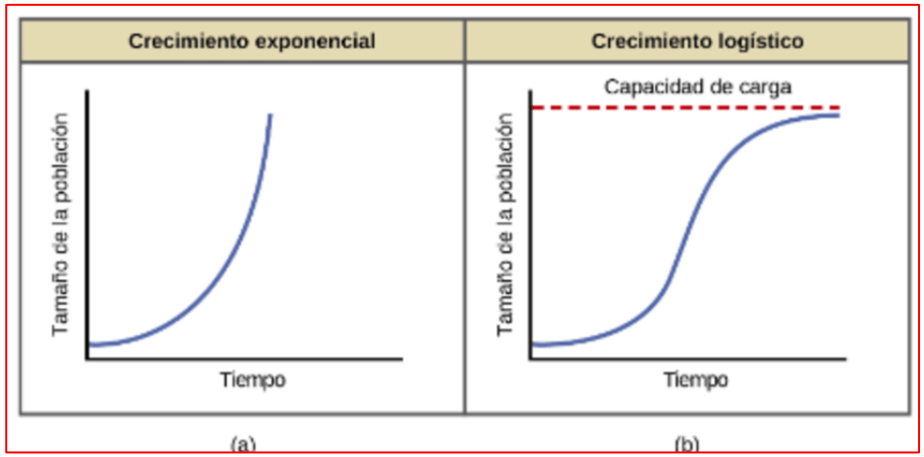
a) **Tasa de natalidad:** Es el número de individuos que nacen en una unidad de tiempo.
b) **Tasa de mortalidad:** Es el número de individuos que mueren por unidad de tiempo.
c) **Tasa de migración:** Es el número de individuos que se incorporan a la población (reclutamiento) por unidad de tiempo (inmigración) o el número de individuos que abandonan la población por unidad de tiempo (emigración).

Existen dos tipos de crecimiento:

- **Exponencial:** Se da cuando las poblaciones con recursos naturales ilimitados crecen muy rápidamente, y luego el crecimiento de la población disminuye a medida que los recursos se agotan. El mejor ejemplo de crecimiento exponencial se ve en las bacterias. El concepto importante de crecimiento exponencial es que la tasa de crecimiento de la población (el número de organismos agregados en cada generación reproductiva) se está acelerando; es decir, está aumentando a un ritmo cada vez mayor (Clark, et al, 2018).
- **Logarítmico:** La presentan organismos más grandes como las ballenas, osos, ser humano, entre otros, se da cuando la cantidad de recursos son limitados (Clark, et al, 2018).

Capacidad de carga y modelo logístico, estos conceptos están relacionados a que, en el mundo real, con sus recursos limitados, el crecimiento exponencial no puede continuar indefinidamente. El crecimiento exponencial puede ocurrir en entornos donde hay pocos individuos y abundantes recursos, pero cuando el número de individuos aumenta lo suficiente, los recursos se agotarán, lo que ralentizará la tasa de crecimiento. Eventualmente, la tasa de crecimiento se estabilizará o se estabilizará. Este tamaño de la población, lo que representa el tamaño máximo de población que un entorno particular puede soportar, se llama la capacidad de carga, o K (Clark, et al, 2018).

Fig. 6.26. Curvas de crecimiento



Fuente: https://cnx.org/contents/X6dCGi4e@12/Crecimiento-y-regulaci%C3%B3n-de-la-poblaci%C3%B3n

6.3.3 COMUNIDAD

Es un conjunto de organismos de diferentes especies que interactúan entre sí y viven en el mismo lugar. Las comunidades presentan relaciones entre los seres vivos que para su estudio puede ser detallados en:

6.3.3.1 Niveles tróficos

Basándose en su alimentación las especies en el ecosistema se ubican dentro de niveles tróficos, término que es utilizado para designar en la cadena, red, o pirámide alimenticia el lugar, la posición o el número de etapas que separan a un organismo de los productores, o la posición del consumidor en relación al productor.

a) **Productores o autótrofos:** Transforman la energía luminosa en energía química potencial para producir sus propios alimentos (glucosa y demás sustancias nutritivas), a través de la fotosíntesis. A este grupo pertenecen las plantas, y en los ecosistemas de aguas dulces y marinos, está

representado por el fitoplancton, las algas y las plantas cerca de la orilla.

b) **Consumidores o heterótrofos:** Son organismos que consiguen su energía y elementos nutritivos, a partir de otros seres vivos. Existen varias clases de consumidores dependiendo de cuál sea su fuente primaria de alimentos, así se tiene:

- **Consumidores primarios o Herbívoros:** Aquellos que comen plantas o algas, son consumidores primarios por que se alimentan directamente del productor. Por ejemplo: Rizófagos (comen raíces), Frugívoros (frutas), Granívoros (semillas), xilófagos (madera), Nectarívoros (Néctar) etc.
- **Consumidores secundarios o Carnívoros:** Aquellos que comen a los herbívoros (Primarios).
- **Consumidores terciarios u Omnívoros:** Aquellos que comen una gran variedad de alimentos, tanto animales como plantas, también llamados generalistas (Cerdos, ratas, osos, el hombre) etc.
- **Consumidores cuaternarios o especiales:** Tales como:
  - **Los súper depredadores:** Son aquellos que consumen a otros carnívoros, como los tiburones, orcas, focas, cobra, etc.
  - **Los carroñeros:** Llamados también necrófagos, que se alimentan de cadáveres en descomposición, es decir se alimentan de organismos muertos de forma natural; buitres, gallinazos, etc.
  - **Los detritófagos (detritívoros):** Aquellos que consumen partículas residuales, lo que queda de la alimentación de otros animales, es decir de detritus (partes de organismos muertos, fragmentos y desechos de organismos vivientes). Tenemos los cangrejos, hormigas, lombrices de tierra, escarabajos.
  - **Los parásitos:** Aquellos que se alimentan de sustancias orgánicas (sangre, tejidos), o alimentos ingeridos por otro organismo llamados huésped, de acuerdo a como se localicen pueden ser ectoparásitos (pulgas, piojos) o endoparásitos (tenias, oxiuros).

c) **Descomponedores o desintegradores (transformadores):** Son consumidores que descomponen la

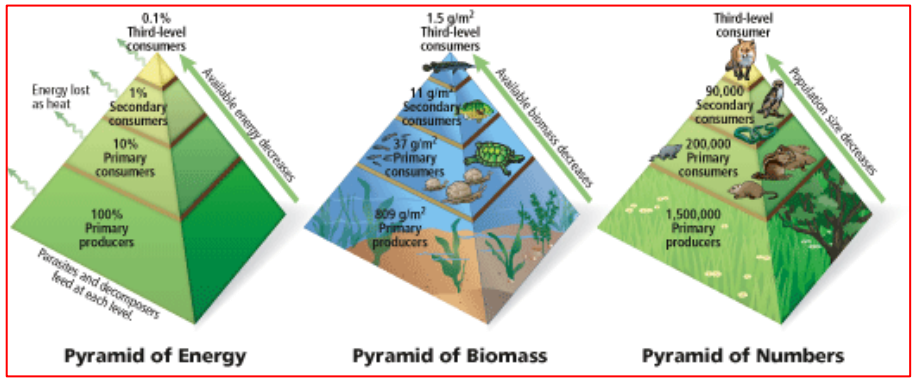
materia orgánica a materia inorgánica en los ecosistemas. Incluyen bacterias y hongos que descomponen la materia orgánica para obtener nutrientes, liberando los compuestos más simples en el suelo y el agua, donde son absorbidos nuevamente por los productores.

6.3.3.2 Pirámides tróficas

La estructura trófica representa los distintos niveles alimenticios de un ecosistema, donde el tamaño de cada nivel refleja la cantidad de organismos, materia viva o energía que contiene.

a) **Pirámide de número de individuos:** En estas pirámides se expresa el número de individuos por cada nivel trófico.
b) **Pirámide de biomasa:** En esta pirámide, cada rectángulo expresará la cantidad de biomasa por nivel trófico.
c) **Pirámide de energía:** En esta pirámide se expresa la cantidad de energía por cada nivel trófico y que está disponible para los siguientes. En general, la energía de cada nivel supone, aproximadamente, un 10 % de la del nivel inferior.

Fig. 6.27. Pirámides tróficas

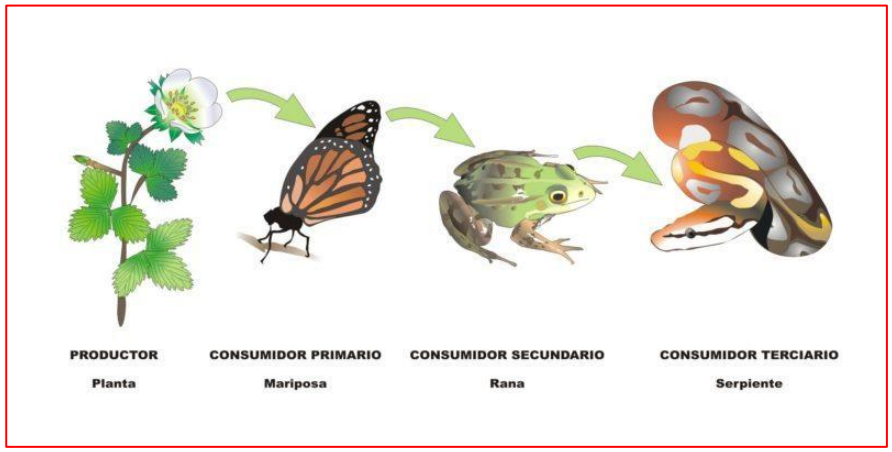


Fuente: http://biologiaparatorpes4eso.weebly.com/uploads/9/1/5/9/9159475/545532413.gif

6.3.3.3 Cadenas tróficas

Describen el flujo de energía a través de un ecosistema, la energía almacenada por las plantas se mueve a través de organismos que comen y son comidos; mediante las cadenas tróficas los organismos se relacionan entre sí por la forma en que se alimentan unos de otros, enlazándose y constituyendo los eslabones donde cada tipo de organismo ocupa una posición en relación con los demás, constituyen una representación de las relaciones de alimentación que hay entre los organismos que integran una comunidad.

Fig. 6.28. Cadena trófica



Fuente:https://concepto.de/wp-content/uploads/2019/03/cadena-trofica-e1553117576905.jpg

6.3.3.4 Redes alimentarias

Las redes tróficas no son lineales, los recursos se comparten, en especial en los inicios de la cadena. La misma planta sirve de comida a una gran variedad de organismos y éstos sirven de alimento a varios depredadores. De este modo, las cadenas tróficas se conectan para formar una red trófica cuya complejidad varía entre diferentes ecosistemas y dentro de ellos.

6.3.4 ECOSISTEMA

Es la unidad funcional básica de la ecología en donde se integran una serie de poblaciones que actúan entre sí con el medio físico para formar un sistema estable. (De la Llata 2006)

6.3.4.1 Clasificación de los ecosistemas

Según su origen los ecosistemas se clasifican en:

a) **Ecosistemas Naturales:** Pueden ser desde que aparece cuando un árbol cae dentro del bosque, hasta un desierto, o los bosques naturales no intervenidos por el hombre, los lagos, lagunas, mares, montañas, glaciares, entre otros; la cuestión es que no haya habido intervención humana.

b) **Ecosistemas Artificiales:** Son ecosistemas intervenidos y/o creados por el hombre llamados también antrópicos y son:

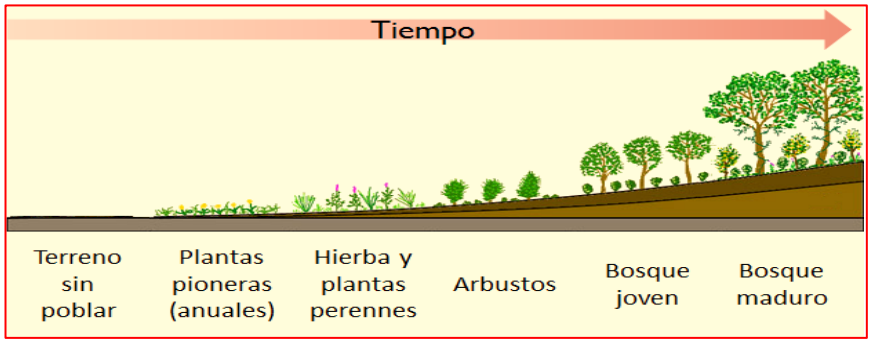
- **Ecosistemas Artificiales Maduros:** Que aparecen más o menos en su estado natural, generalmente no son empleados ni habitados por el hombre, pero son considerados por su potencialidad y caracterizado por su alto grado de estabilidad, como por ejemplo áreas de producción de agua (Áreas silvestres, montañas desiertas) (Granillo 2014).

- **Ecosistemas Artificiales Controlados:** Ecosistemas que controla el hombre para uso recreativo o para la producción de recursos naturales (por ej. parques, bosques controlados, áreas de caza, pesca y algunas zonas del mar).
- **Ecosistemas Productivos:** Ecosistemas que emplea el hombre para la producción intensiva de alimentos o recursos naturales (suelos agrícolas, pastizales, minas, etc.).
- **Ecosistemas Urbanos:** Ecosistemas en los que el hombre vive y trabaja (áreas industriales, ciudades, pueblos, etc.).

6.3.4.2 Funciones y características de los ecosistemas

a) **Desarrollo de los ecosistemas (sucesión ecológica):** Es un proceso ordenado mediante el cual, las comunidades cambian en el curso del tiempo como resultado de la interacción de factores abióticos y bióticos, que dan lugar finalmente a una comunidad madura, compleja y estable desarrollada bajo condiciones climáticas y edáficas que prevalecen en un estado avanzado de sucesión ecológica (clímax). Estos cambios son estructurales y funcionales que experimenta el ecosistema. Así mismo, este proceso permite a los sistemas naturales ajustarse a las condiciones físicas que los rodean y maximizar así los flujos de energía en sus compartimientos bióticos y abióticos. Las condiciones que favorecen la sucesión son: La accesibilidad de organismos para colonizar el área donde el sistema se desarrolla, Abundancia de energía solar, Agua y materia inorgánica, Clima favorable, Espacio para crecer. La sucesión ecológica posee ciertas características: 1) Disturbio. 2) Colonización de nuevas plantas pioneras. 3) Colonización de plantas perennes. 4) Se alcanza la madurez. (Valverde 2005).

Fig. 6.29. Sucesión ecológica



Fuente:https://bioteoria.files.wordpress.com/2015/10/b1e29-sucesion.png?w=622&h=317

b) **Autorregulación:** Es la habilidad del ecosistema para conservar su balance dinámico a través de una serie de

mecanismos, como la retroalimentación, la selección natural, y el flujo de energía y materia. Estos procesos le permiten alcanzar un estado de equilibrio dinámico (homeostasis). Cuando dicho equilibrio es perturbado, el ecosistema es capaz de autorregularse con el tiempo hasta recuperar su estabilidad. Dicha estabilidad se manifiesta en una óptima recirculación de materiales y mínimas pérdidas de energía. (Resiliencia: capacidad del ecosistema de recuperarse después de haber sufrido una perturbación manteniendo su equilibrio dinámico y su funcionalidad prácticamente intacta pudiendo regresar a la situación previa a la perturbación). (Odum 2004).

c) **Homeostasis:** Proviene del latín (homeo=igual, stasis=posición) se define como la capacidad que tiene el ecosistema de mantener su estabilidad, por medio de mecanismos de retroalimentación negativa y autorregulación. Los ecosistemas tienen en sí, un equilibrio dinámico; las fluctuaciones naturales se deben a las variaciones climáticas, migraciones, sequías, inundaciones, incendios, etc. (Sanchez, 2005)

En los organismos vivos, la homeostasis consiste en la regulación balanceada de sus procesos metabólicos para retener las condiciones necesarias para la v ida. La homeostasis comprende el mantener un flujo de sustancias necesarias, la producción de energía y la eliminación de desperdicios.

6.3.4.3 Factores ecológicos abióticos

a) **Los factores sidéricos:** Son las características del Sol, la Tierra como planeta, la luna, cometas, planetas, estrellas, etc., pero que tienen una gran importancia sobre el ambiente, así por ejemplo el Sol es el proveedor de energía para el mantenimiento de la v ida y sin él no podría existir ningún ser vivo sobre el planeta, es decir las plantas, los animales y el hombre.

b) **Los factores eco-geográficos:** Son las características específicas de un paisaje natural, siendo posible que un factor determinado tenga un campo de acción aún más amplio en cuanto ejerce su influencia en paisajes colindantes. Los principales son:

- **Los geográficos:** La latitud que viene a ser la distancia angular de una determinada localidad de la tierra en relación con el paralelo 0° del Ecuador, determinando la latitud norte y la latitud sur. La altitud de un determinado

lugar considerando como inicio el nivel del mar. La presión atmosférica o peso del aire. Las estaciones o la variación del clima durante el año. La duración del día y la noche con más o menos horas luz, etc.

- **Los orográficos:** Las cadenas de montañas con sus variaciones climáticas por la altura, las laderas de las montañas, su orientación a la iluminación, las barreras naturales, las planicies, los mares, valles, quebradas, ríos, etc.
- **Los geológicos:** La composición de las rocas, los yacimientos de minerales como por ejemplo los afloramientos de sal, los volcanes, los sismos, los deslizamientos, derrumbes, huaycos, etc.
- **Los edáficos**: Factores del suelo que influyen en la distribución y abundancia de plantas y animales, como las diferentes composiciones de los suelos, su color, su estructura, su textura, etc. (Fraume 2006)
- **Las características de las aguas dulces:** Cuando se refiere a los lagos y lagunas (factores limnológicos) y los ríos y arroyos (factores potamológicos).
- **Los oceanográficos:** Las características de los océanos como: las corrientes marinas, la profundidad, la temperatura, la salinidad, densidad, afloramientos de aguas, etc.
- **Los climáticos:** El clima es la manifestación del efecto de fenómenos atmosféricos o meteoros que se producen en un determinado lugar, en consecuencia, sus componentes son factores climáticos como: la radiación solar, la presión atmosférica, la temperatura, la humedad, precipitación, los vientos, la nubosidad. Desde el punto de vista ecológico el clima es el factor de mucha importancia para la v ida, porque determina la distribución de plantas y animales en continentes y océanos.

c) **Factores Físico Químicos:** Son los que determinan una parte importante de las relaciones ambientales, estableciendo nexos con las formas de vida y son:

- **Factores químicos:** Se refiere a las características químicas del medio, de acuerdo al estado de la materia, es decir aire, agua y los continentes, además incluye la salinidad, la alcalinidad, la acidez, los nutrientes entre otros.
- **Factores físicos:** Comprenden las características físicas, como: viento, nieve, heladas, hielo, luz,

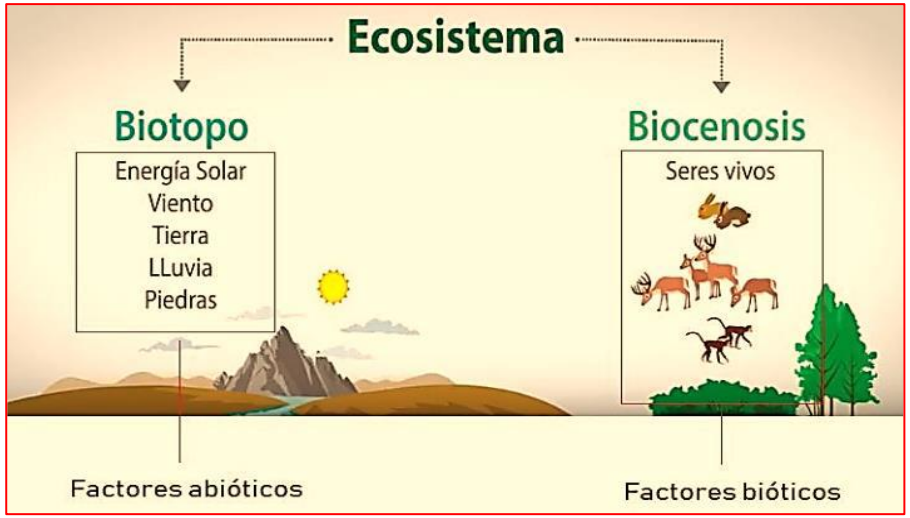
temperatura, erosión, movimientos del suelo, fuego, eventos naturales, corrientes marinas, características del agua, entre otros.

6.3.4.4 Factores ecológicos bióticos

Son los que ocurren dentro de la comunidad, entre los seres vivos, dentro de estos se tienen:

Las relaciones entre organismos: Tienen una influencia muy variada según provengan de individuos de la misma especie (relaciones intraespecíficas) o de especies distintas (relaciones Interespecíficas). (Gliessman 2002).

Fig. 6.30. Factores bióticos y abióticos



Fuente: https://i.pinimg.com/originals/56/88/21/5688211466ca456b9994482f5bce36cc.jpg

BIBLIOGRAFÍA

1. Begon, M., Harper, J. L., & Townsend, C. R. (1999). *Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades* (3ª ed.). Editorial Omega.
2. Brack, A., & Mendiola, C. (2000). *Enciclopedia ecológica del Perú*. Editorial Bruño.
3. Constanzo, L. (2018). *Fisiología* (6ª ed.). Elsevier.
4. Chan, D. M. (2021). *The effects of environmental pollution on the mammalian respiratory system*.
5. Estrada, A., Gallo, M., & Nuñez. (2016). Contaminación ambiental, su influencia en el ser humano, en especial: el sistema reproductor femenino. *Universidad y Sociedad, 8*(3), 80-86. Recuperado de http://rus.ucf.edu.cu/
6. Pérez-Torres, F. J. (2022). *Recent advances in understanding reptile cardiovascular physiology*.
7. Foster, T., & Shen, J. (2019). *Lo esencial en cardiología: Curso Crash* (5ª ed.). Elsevier.
8. Fulcher, E., & Frazier, M. (2009). *Introducción a la terapia intravenosa para profesionales de la salud*. Elsevier.

9. Hansen, J. (2020). *Netter anatomía clínica* (4ª ed.). Elsevier.
10. Jiménez-Castellanos, J., Catalina, C., & Carmona, A. (2007). *Anatomía humana general*. Editorial Universidad de Sevilla.
11. Kardong, K. V., & Phyle, W. J. (2015). *Anatomía y fisiología de los vertebrados* (8ª ed.). McGraw-Hill.
12. Latarjet, M., & Ruiz, A. (2008). *Anatomía humana* (4ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
13. Marieb, E. (2008). *Anatomía y fisiología humana* (9ª ed.).
14. Moore, K., & Agur, A. (2007). *Fundamentos de anatomía con orientación clínica* (2ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
15. Morláns, M. (2004). *Introducción a la ecología de poblaciones*. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca.
16. Randall, D. J. (2017). *Fisiología animal* (2ª ed.). Cambridge University Press.
17. Ranta, E., Lundberg, P., & Kaitala, V. (2006). *Ecología de poblaciones*. Cambridge University Press.
18. Sarmiento, F. (2000). *Diccionario de ecología: Paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Editorial Abya-Yala.
19. Suarez, J., Iturrieta, I., Rodríguez, A., & García, J. (2021). *[Título no especificado]* (2ª ed.). Elsevier.
20. Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2022). *Principios de anatomía y fisiología* (15ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

TEMA 7: SISTEMA ENDOCRINO, NERVIOSO Y BIOMAS

Comprender la interacción entre el sistema endocrino y nervioso, explorando cómo estos sistemas regulan y mantienen la homeostasis en los organismos.

Analizar la estructura, función y diversidad de los biomas terrestres y acuáticos, explorando su importancia ecológica.

7 SISTEMA ENDOCRINO, NERVIOSO Y HUMANO

7.1 SISTEMA ENDOCRINO HUMANO:

Es un sistema compuesto por glándulas y células endocrinas que pueden liberar un mensajero químico conocido como hormona en la sangre.

7.1.1 SISTEMA ENDOCRINO EN ANIMALES VERTEBRADOS

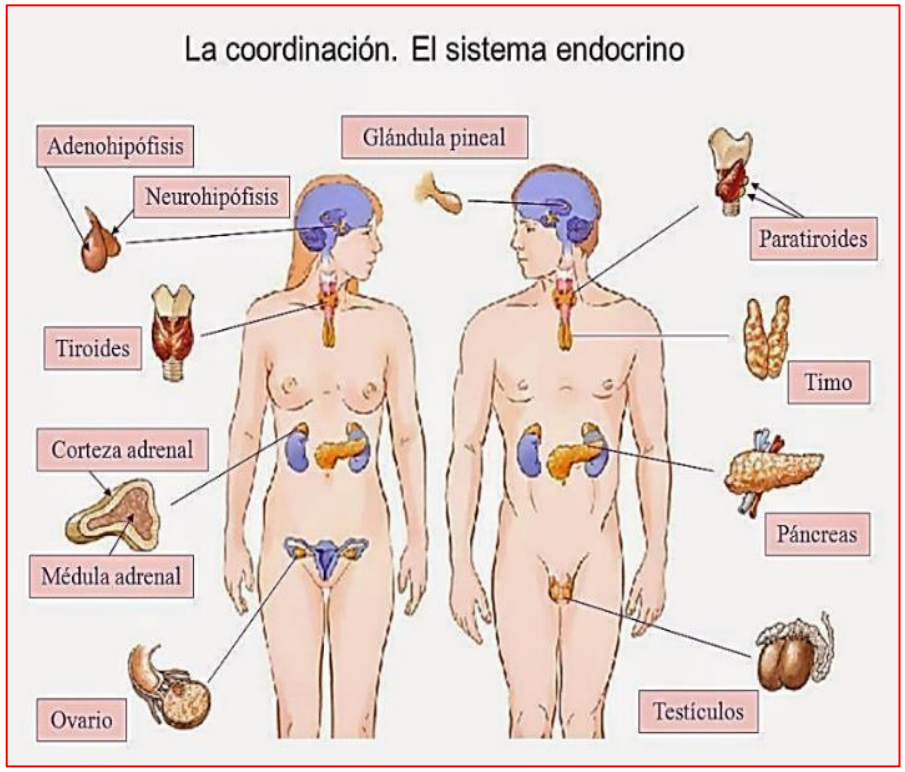
Las hormonas son sustancias químicas (mensajeros químicos) producidas y secretadas por las glándulas endocrinas que actúan sobre órganos específicos, los que contienen a las células blanco o diana, las mismas que presentan receptores específicos para cada hormona.

La mayoría de las hormonas se liberan en el líquido intersticial antes de ingresar al torrente sanguíneo. La sangre circulante distribuye las hormonas entre las células de todo el cuerpo (Tortora y Derrickson, 2017).

Las hormonas se caracterizan por:

- Ser eficaces, tienen efecto biológico en pequeñas cantidades.
- Son específicas, a pesar de ser muchas, las hormonas actúan sobre determinados órganos y células llamadas diana o blanco, esto se debe sólo a que las células blanco tienen receptores para una hormona determinada (Saladin, 2021).
- Su secreción está muy controlada, una vez que una hormona realizó su función se elimina del cuerpo vía urinaria o es destruida por el hígado, por ello existe un equilibrio entre la secreción de una hormona y su eliminación, una alteración de la concentración hormonal en la sangre tendrá como consecuencia una enfermedad.
- Diferentes hormonas pueden funcionar juntas para intensificar mutuamente su influencia sobre una célula diana, este fenómeno se denomina sinergismo.
- La retroalimentación negativa en hormonas es un proceso donde la producción de una hormona inhibe la liberación de la hormona que la estimula. Esta acción mantiene un ambiente equilibrado, haciendo que los niveles hormonales estén en un rango óptimo. Ejemplos la regulación del nivel de glucosa en sangre por la insulina y el control del ciclo menstrual por el estrógeno y la progesterona.

Fig. 7.1. Principales glándulas endocrinas



Nota: La figura representa las principales glándulas endocrinas, tomado de Atlas de Histología. Leslie Gartner. 2da edición. 2013

7.1.1.1 Químicamente las hormonas pueden ser:

Esteroideas: Derivados del esterano, algunos ejemplos son:

- Aldosterona y cortisol secretadas por la corteza suprarrenal.
- Estrógenos y progesterona secretados por los ovarios.
- Testosterona secretada por los testículos (Hall y Guyton, 2016).

Aminas: Estas hormonas derivan de un único aminoácido, el cual puede ser la tirosina o el triptófano. Ejemplos:

- Triyodotironina y tiroxina secretadas por la glándula tiroides.
- Adrenalina y noradrenalina secretadas por la médula suprarrenal.
- Melatonina secretada por la epífisis (Patton, 2022).

Péptidos y Proteínas: Formados por unión de varios aminoácidos. Ejemplo:

- Oxitocina y vasopresina secretados por la neurohipófisis
- Hormona del crecimiento, prolactina, hormona Folículo estimulante (FSH), hormona Luteinizante (LH), secretadas por la adenohipófisis.
- Insulina y glucagón secretadas por el páncreas.
- Paratohormona secretada por la paratiroides.

7.1.1.2 Funciones:

- Ayudan a regular:
  - ✓ La composición química y el volumen del ambiente interno (líquido intersticial).
  - ✓ El metabolismo y balance energético.
  - ✓ La contracción del músculo liso y de las fibras musculares cardíacas.
  - ✓ Las secreciones glandulares.
  - ✓ Algunas de las actividades del sistema inmunitario.
  - ✓ Controlan el crecimiento y el desarrollo.
- Regulan la función de los aparatos reproductores.
- Ayudan a establecer los ritmos circadianos.

7.1.2 GLÁNDULAS ENDOCRINAS:

Tienen por función la producción y secreción de diferentes hormonas. Existe una estrecha relación entre el sistema endocrino y el nervioso; así, las influencias del sistema nervioso sobre el endocrino pueden provocar un aumento o disminución de la producción de hormonas.

7.1.2.1 Hipotálamo

Situado en la base del diencéfalo, funciona como un centro integrador entre el sistema nervioso y endocrino, porque secreta varias hormonas que controlan a otras glándulas endocrinas. Se pueden distinguir dos tipos de hormonas hipotalámicas:

Las neuronas de los núcleos supraóptico y paraventricular del hipotálamo sintetizan las hormonas oxitocina y la vasopresina que son almacenadas y luego liberadas por la hipófisis posterior (neurohipófisis).

Las hormonas producidas en el hipotálamo y liberadas en la sangre viajan hasta la hipófisis anterior (adenohipófisis), donde regulan la liberación o inhibición de sus propias hormonas.

Hormonas hipotalámicas	**Órgano blanco**	**Acción principal**
Hormona liberadora de la hormona del crecimiento (GRH).	Adenohipófisis	Estimula la secreción (liberación) de hormona del crecimiento
Hormona inhibidora de la hormona del crecimiento (GIH) o Somatostatina (SS)	Adenohipófisis	Inhibe la secreción de hormona del crecimiento.
Hormona liberadora de corticotropina (CRH).	Adenohipófisis	Estimula la liberación de hormona adrenocorticotrofa (ACTH)
Hormonal liberadora de tirotropina (TRH).	Adenohipófisis	Estimula la liberación de hormona tiroideo estimulante (TSH).
Hormona liberadora de gonadotropina (GnRH)	Adenohipófisis	Estimula la liberación de gonadotropinas (FSH y LH).
Hormona liberadora de prolactina (PRH)	Adenohipófisis	Estimula la secreción de prolactina.
Hormona inhibidora de prolactina (PIH) o dopamina.	Adenohipófisis	Inhibe la secreción de prolactina.
Oxitocina	Glándulas mamarias y músculo uterino	Estimula la eyección láctea y las contracciones del

		músculo uterino durante el parto
Vasopresina o Antidiurética (ADH)	Riñones (nefrones)	Favorece la reabsorción de agua a nivel de túbulos colectores y produce la vasoconstricción de las arteriolas, elevando la presión arterial.

7.1.2.2 Hipófisis

La hipófisis denominada también como glándula pituitaria o glándula hipofisaria es una estructura pequeña que tiene solo de 1,2 a 1,5 cm de anchura y pesa apenas 0,5 gr, las funciones del lóbulo anterior de la hipófisis son tan importantes que también es conocida como la glándula maestra.

Ubicada en la base del cerebro en la silla turca del hueso esfenoides, se encuentra dividida en dos lóbulos: la adenohipófisis o hipófisis anterior y la neurohipófisis o hipófisis posterior (Patton, 2022).

7.1.2.2.1 Adenohipófisis o Lóbulo anterior: Produce las siguientes hormonas:

Hormona del crecimiento o Somatotropina (GH): Tiene un efecto generalizado en todo el cuerpo, estimulando el crecimiento y favoreciendo la síntesis de proteínas.

Su carencia en niños produce enanismo hipofisario, mientras que su exceso provoca gigantismo. En los adultos, un exceso de esta hormona causa acromegalia.

Prolactina o Mamotropina (PRL): Su órgano blanco es la glándula mamaria, favorece la producción de leche materna después del parto.

Gonadotropinas: Son dos:

Hormona luteinizante (LH): Sus órganos blanco son las gónadas masculinas o femeninas. En las mujeres, estimula la producción de progesterona y la ovulación; en los hombres, la producción de testosterona.

Hormona foliculoestimulante (FSH): Su órgano blanco son las gónadas masculinas o femeninas, en la mujer estimula la maduración de los folículos ováricos y en el varón estimula la espermatogénesis (producción de espermatozoides).

Hormona tirotropina (TSH): Su órgano blanco es la tiroides, estimula la secreción de hormonas tiroideas.

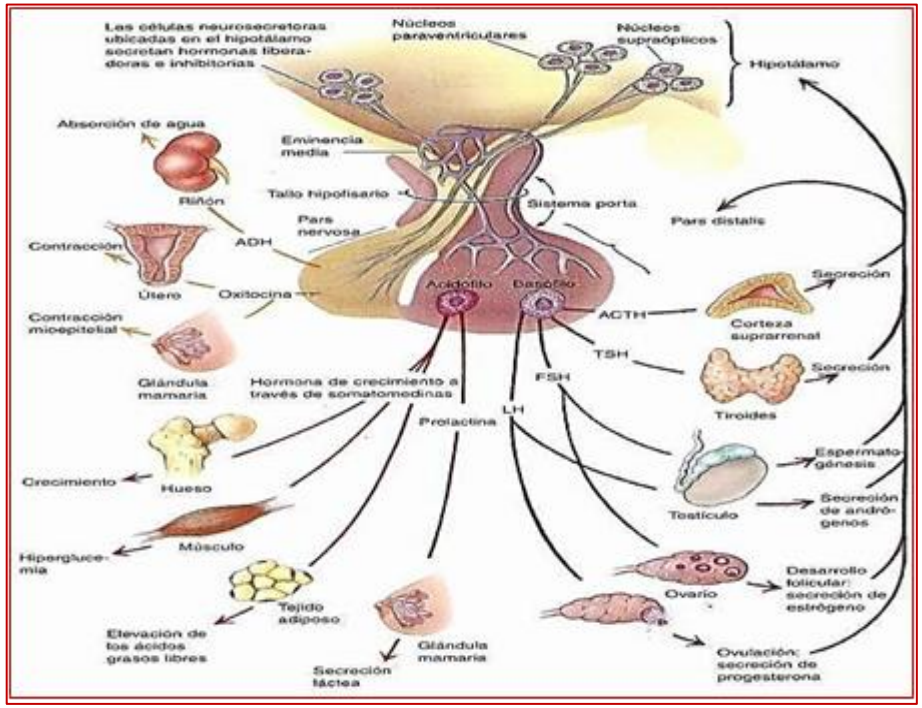
Hormona Adrenocorticotropina (ACTH): Su órgano blanco es la corteza suprarrenal, estimula la secreción de hormonas corticosuprarrenales.

7.1.2.2.2 Neurohipófisis o lóbulo posterior: Almacena y libera dos hormonas:

- **Antidiurética (ADH) o Vasopresina**
- **Oxitocina**

Véase el cuadro de las hormonas hipotalámicas.

Fig. 7.2. Hormonas de la hipófisis



Fuente: la figura representa las diferentes hormonas producidas por la glándula hipófisis, tomada de http://fisiologiaconjacqueline.blogspot.pe/2013/05/hormonas-del-hipotalamo-e-hipofisis.html

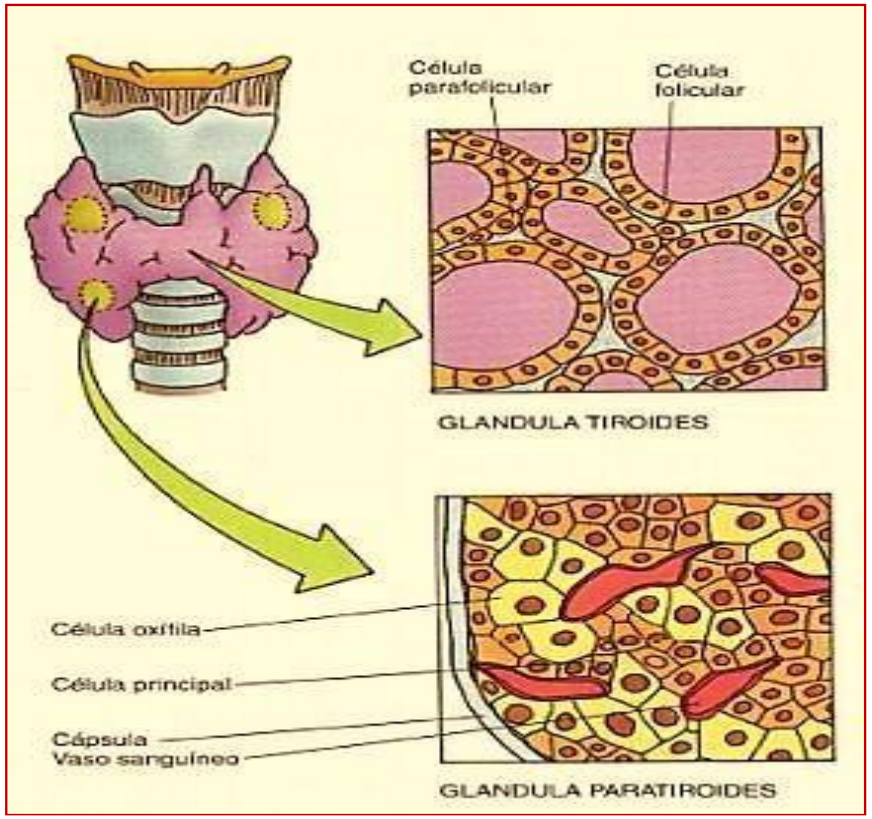
7.1.2.3 Tiroides

Es una de las glándulas endocrinas más grandes del cuerpo, con una forma que se asemeja a la de una mariposa, y se encuentra situada sobre la tráquea en la parte frontal del cuello. Internamente presenta múltiples folículos o acinos (Figura 7.3), cada folículo esférico está rodeado de una sola capa de células, las cuales producen las siguientes hormonas:

Tiroxina (T4) y Triyodotironina (T3): Son 2 hormonas que poseen un efecto generalizado, cuya acción sinérgica incrementa el consumo de oxígeno, promueve la maduración y diferenciación de diversos tejidos, acelera el crecimiento corporal y aumenta el metabolismo basal.

Calcitonina: Su órgano blanco son los huesos, disminuye la concentración de calcio en la sangre, inhibe la reabsorción ósea por parte de los osteoclastos.

Fig. 7.3. Estructura de la glándula Tiroides y Paratiroides



Fuente: La figura muestra la glándula tiroides y paratiroides, tomado de Atlas de Histología. Leslie Gartner. 2da edición. 2013

7.1.2.4 Paratiroides

Son cuatro de ellas, incrustadas de manera parcial en la superficie posterior de la glándula tiroidea (Saladin, 2021). Se encargan de producir la siguiente hormona:

Hormona paratiroidea o paratohormona: Su órgano blanco son los huesos, es el regulador principal de los niveles de calcio, magnesio y fosfato en la sangre.

Aumenta la concentración de calcio en la sangre, incrementa el número y la actividad de los osteoclastos y estimula la reabsorción del calcio y magnesio en los riñones. Activa la Vitamina D.

7.1.2.5 Páncreas

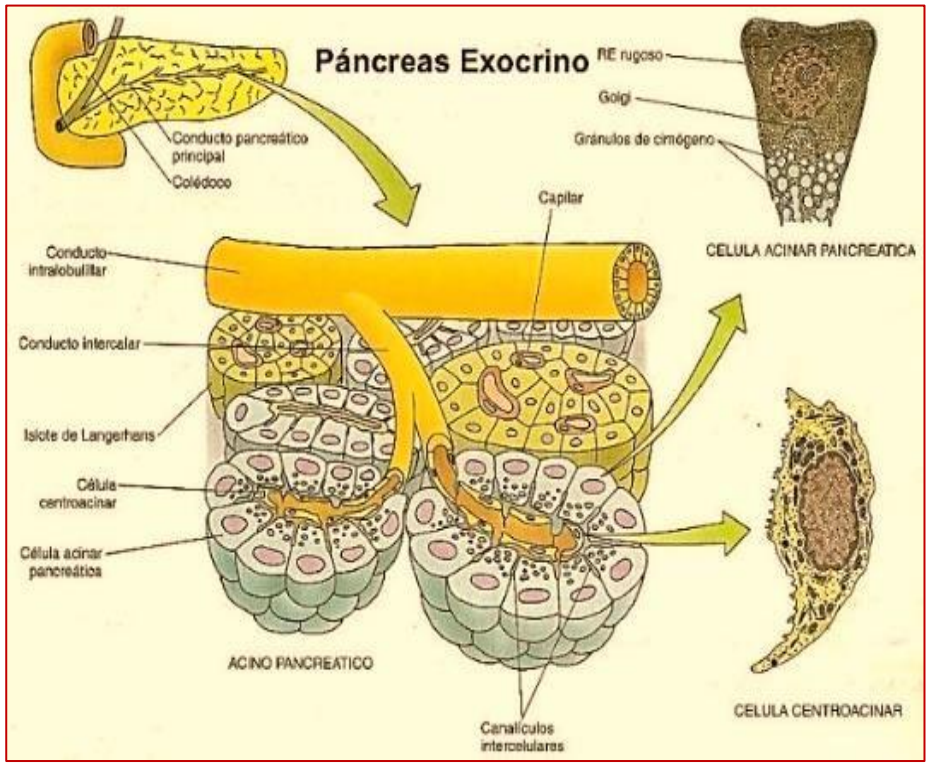
En su interior posee cúmulos ovoides de células llamadas “islotes de Langerhans”, las cuales producen las siguientes hormonas:

Insulina: Es una hormona secretada por las células beta (representan el 70%) de los Islotes de Langerhans, reduce la concentración de glucosa en la sangre, fomentan la glucogénesis, almacenamiento de grasa y síntesis de proteínas. Su deficiencia produce la Diabetes.

Glucagón: Es una hormona secretada por las células alfa (representan el 17%) de los Islotes de Langerhans, cuyo órgano blanco es el hígado y el tejido adiposo, incrementa la concentración de la glucosa en la sangre, estimulando la glucogenólisis, la gluconeogénesis; moviliza las grasas.

Somatostatina: Es una hormona secretada por las células delta (representa el 7%) de los islotes de Langerhans; Inhibe la secreción de insulina y glucagón y ralentiza la absorción de nutrientes desde el tubo digestivo (Tortora y Derrickson, 2017).

Fig. 7.4. Estructura del Páncreas



Fuente: La figura representa la estructura del páncreas, tomado de Atlas de Histología. Leslie Gartner. 2da edición. 2013

7.1.2.6 Suprarrenales o adrenales

Las glándulas suprarrenales se encuentran situadas sobre los riñones, ajustándose a ellos como si fueran una capa. La parte externa de la glándula se conoce como corteza suprarrenal, mientras que la parte interna se llama médula suprarrenal.

7.1.2.6.1 Corteza suprarrenal: Representa el 80% a 90 % de la glándula suprarrenal, produce las siguientes hormonas:

Mineralocorticoides: La aldosterona es el principal mineralocorticoide; incrementa la reabsorción de sodio, agua y la excreción renal de potasio. El tejido blanco es el riñón.

Glucocorticoides: Regulan el metabolismo de los carbohidratos, estimulan la gluconeogénesis y ayudan a proporcionar resistencia al estrés. Incluye tres hormonas: el cortisol, corticosterona y cortisona, de las cuales el cortisol es la más importante. El tejido blanco es en general.

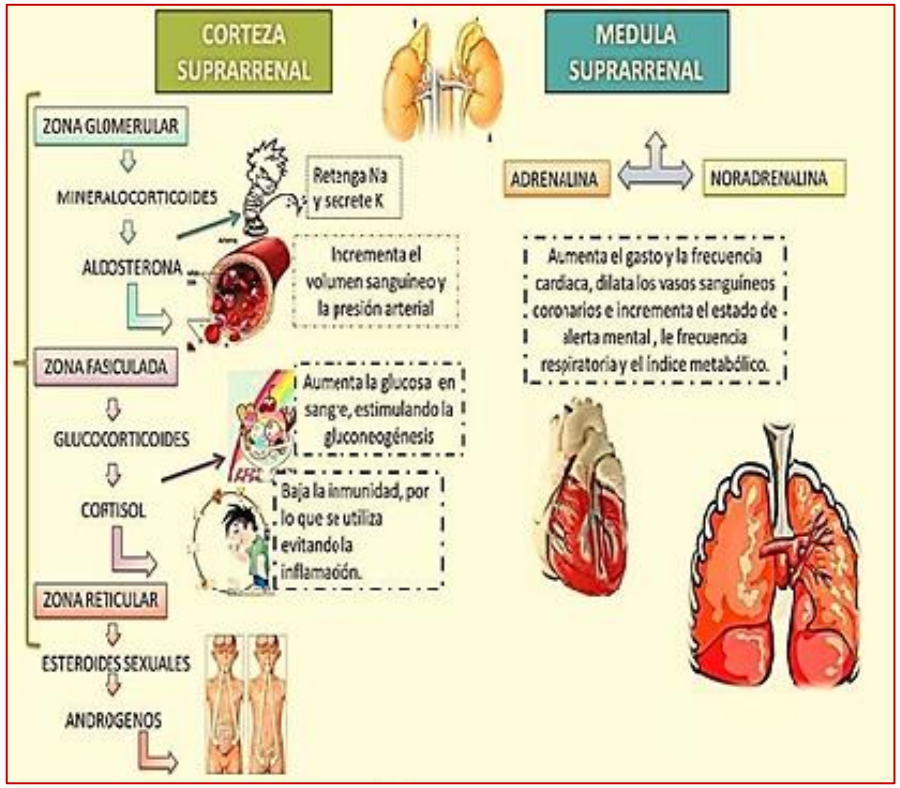
Gonadocorticoides: El término gonadocorticoide hace referencia a las hormonas sexuales liberadas en la corteza suprarrenal, en lugar de en las gónadas. Ejemplo:

La dehidroepiandrosterona (andrógeno) importante en el feto porque permite el desarrollo prenatal del aparato reproductor masculino, por otro lado, está el estradiol (estrógeno), importante en mujeres después de la menopausia, debido a que los ovarios dejan de producir estrógenos (Saladin, 2021).

7.1.2.6.2 Médula suprarrenal: Representa del 10 al 20 % de la glándula suprarrenal, produce la siguiente hormona:

Adrenalina (epinefrina) y noradrenalina (norepinefrina): Incrementa la frecuencia cardiaca, aumenta la presión arterial, incremento de la glucemia y del consumo de oxígeno. El tejido blanco es el miocardio, vasos sanguíneos, músculo, hígado y tejido adiposo.

Fig. 7.5. Glándulas suprarrenales


CORTEZA SUPRARRENAL
MEDULA SUPRARRENAL
ZONA GLOMERULAR
MINERALOCORTICOIDES
ALDOSTERONA
Retenga Na y secrete K
Incrementa el volumen sanguíneo y la presión arterial
ZONA FASICULADA
GLUCOCORTICOIDES
CORTISOL
Aumenta la glucosa en sangre, estimulando la gluconeogénesis
Baja la inmunidad, por lo que se utiliza evitando la inflamación.
ZONA RETICULAR
ESTEROIDES SEXUALES
ANDROGENOS
ADRENALINA
NORADRENALINA
Aumenta el gasto y la frecuencia cardiaca, dilata los vasos sanguíneos coronarios e incrementa el estado de alerta mental, le frecuencia respiratoria y el índice metabólico.

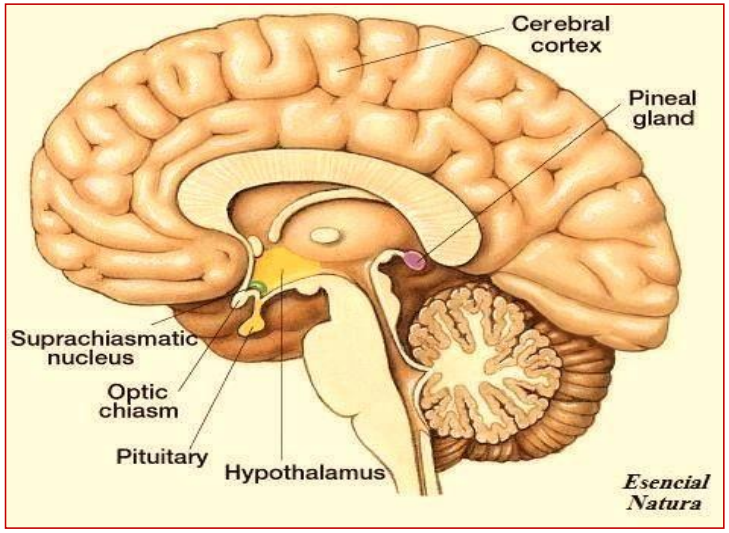
Fuente: La figura representa (corteza y la medula suprarrenal), tomado de Atlas de Histología. Leslie Gartner. 2da edición. 2013

7.1.2.7 Glándula pineal o epífisis

Glándula endocrina pequeña adosada al techo del tercer ventrículo del cerebro, está constituida por neuroglias y células llamadas pinealocitos (Tortora y Derrickson, 2017) las cuales producen la siguiente hormona:

Melatonina: Su secreción está influenciada por ciclos de luz y oscuridad, regula el sueño, apoya el sistema inmunológico, afecta los procesos reproductivos en ciertos animales, participa en la pigmentación de algunos vertebrados, regula los biorritmos en ciertos animales y controla el inicio de la pubertad en los seres humanos. El tejido blanco es general.

Fig. 7.6. Glándula Pineal



Fuente: La figura representa la glándula endocrina pineal, tomado de https://lamenteesmaravillosa.com/wp-content/uploads/2018/03/glandula-pineal.jpg

7.1.2.8 Ovarios

Son un conjunto de glándulas pares de la pelvis que producen varios tipos de hormonas sexuales, como las que se describen brevemente a continuación:

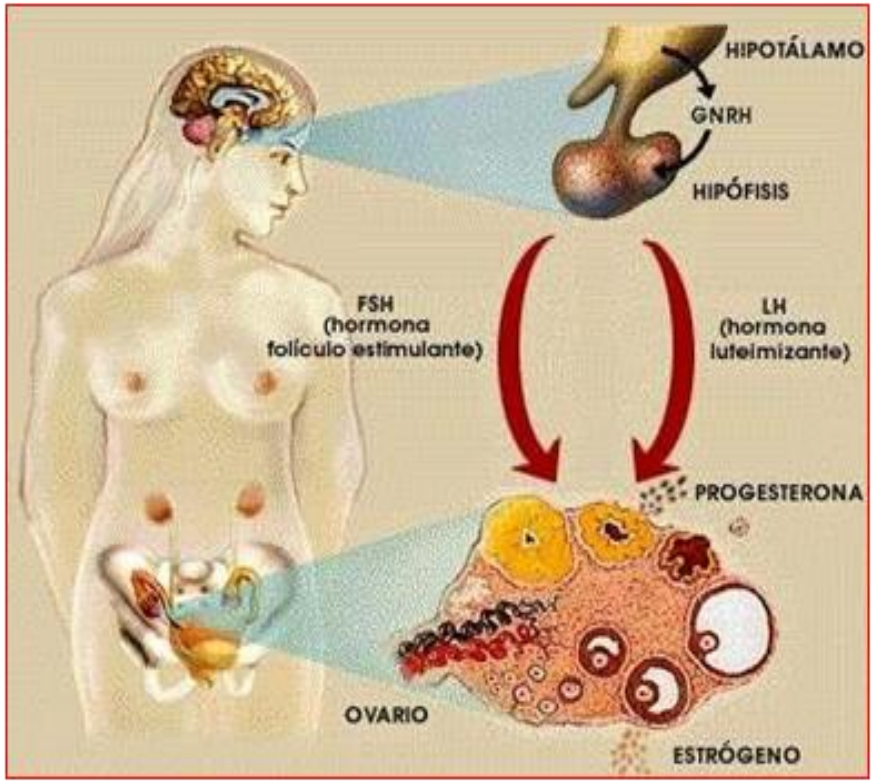
Estrógenos: Responsables del desarrollo de las características sexuales femeninas; formación y crecimiento de las mamas, vagina y útero, regula el ciclo menstrual y la ovogénesis.

Progesterona: Son responsables del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios en las mujeres y mantienen el revestimiento uterino necesario para la implantación y el desarrollo del embarazo. El tejido blanco es el útero

La regulación de la secreción hormonal ovárica es ciertamente compleja, aunque en esencia se ve condicionada por los niveles cambiantes de la FSH y de la LH de la adenohipófisis.

Inhibina: Inhibe la secreción de FSH de la Adenohipófisis.

Fig. 7.7. Hormonas del ovario



Fuente: La figura representa las hormonas del ovario, tomado de http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/apararep/ciclom.htm

7.1.2.9 Testículos

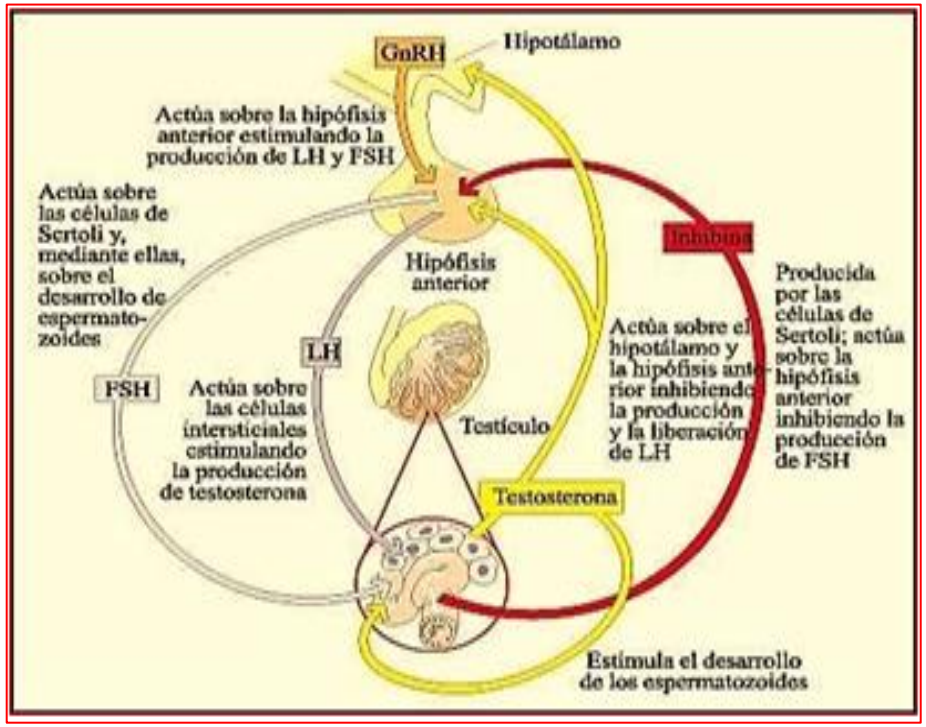
Los testículos son órganos pares situados dentro de un saco de piel llamado escroto, produce las siguientes hormonas:

Testosterona: Estimula el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios masculinos, promueve el descenso de los testículos antes del nacimiento, regula la espermatogénesis. El tejido blanco es general.

La secreción de testosterona está regulada principalmente por los niveles de gonadotropinas (especialmente de LH) en la sangre.

Inhibina: Inhibe la secreción de FSH de la adenohipófisis

Fig. 7.8. Hormonas testiculares


GnRH
Hipotálamo
Actúa sobre la hipófisis anterior estimulando la producción de LH y FSH
Actúa sobre las células de Sertoli y, mediante ellas, sobre el desarrollo de espermato-zoides
Hipófisis anterior
Inhibina
Producida por las células de Sertoli; actúa sobre la hipófisis anterior inhibiendo la producción de FSH
Actúa sobre el hipotálamo y la hipófisis anterior inhibiendo la producción y la liberación de LH
LH
FSH
Actúa sobre las células intersticiales estimulando la producción de testosterona
Testículo
Testosterona
Estimula el desarrollo de los espermatozoides

Nota: La figura representa la producción de hormonas testiculares, tomado de https://www.pictoeduca.com/leccion/196

7.2 SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso es una red intrincada de células que orquestan las funciones corporales y permiten la interacción con el entorno. Este sistema maestro se compone de dos partes principales: el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP).

El sistema nervioso desempeña un papel crucial en la orquestación de diversas funciones corporales:

- **Control del movimiento:** Coordina tanto los movimientos voluntarios como los involuntarios, desde el movimiento fino de los dedos hasta los latidos rítmicos del corazón.

- **Recepción e integración sensorial:** Procesa información sensorial del mundo exterior a través de los sentidos, permitiéndonos percibir y comprender nuestro entorno.

- **Cognición y emoción:** Da lugar a funciones cognitivas superiores como el pensamiento, la memoria, el aprendizaje y la toma de decisiones. También es responsable de las emociones, como la alegría, la tristeza, la ira y el miedo.

- **Homeostasis:** Mantiene el equilibrio interno del cuerpo, regulando parámetros fisiológicos como la temperatura corporal, la presión arterial y los niveles de glucosa en sangre.

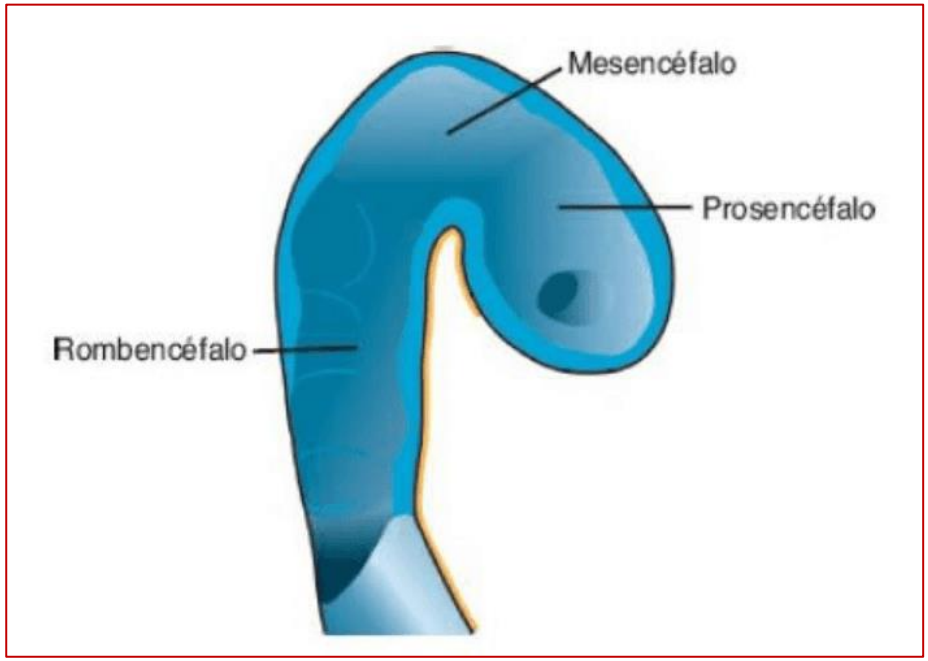
7.2.1 SISTEMA NERVIOSO EN ANIMALES VERTEBRADOS

El sistema nervioso dorsal es característico de los vertebrados; en estos, el encéfalo y la médula espinal se localizan a nivel dorsal. A lo largo del desarrollo embrionario, la primera formación del sistema nervioso es el tubo neural. La región frontal de este tubo se convierte en el encéfalo embrionario, el cual se divide en tres secciones: prosencéfalo, mesencéfalo y rombencéfalo.

- **El Prosencéfalo:** Da origen al cerebro (que está muy desarrollado en los mamíferos) y a la hipófisis; es la glándula endocrina maestra, por cuanto dirige a las demás glándulas endocrinas del animal.
- **El Mesencéfalo:** Da origen a los lóbulos ópticos en peces, anfibios, reptiles y aves. En los mamíferos, los colículos superiores cumplen una función equivalente.

- **El Rombencéfalo:** Da origen al cerebelo que está muy desarrollado en aves donde coordina el vuelo; también origina al bulbo raquídeo que es centro cardiaco y del vómito.

Fig. 7.9. Encéfalo embrionario



Nota: La figura muestra las tres estructuras presentes en el encéfalo embrionario, tomado de *https://filadd.com/doc/sistema-nervioso-docx-histologia-biologia-celular*

7.2.1.1 Sistema nervioso en peces

El encéfalo es pequeño. En los condrictios, los lóbulos olfatorios constituyen la zona más desarrollada, esta es una estructura clave del sistema nervioso central (SNC), juega un papel fundamental en la capacidad de los condrictios (tiburones, rayas y quimeras) para detectar y procesar olores. En la región frontal del cerebro se encuentra el lóbulo olfatorio, que recibe datos sensoriales de las células olfativas situadas en la nariz y los convierte en señales neuronales, las cuales se transmiten a diferentes áreas del cerebro para su procesamiento e interpretación. (Mueller & Roth 2013).

El lóbulo olfatorio desempeña un papel fundamental en diversos aspectos de la vida de los condrictios, incluyendo:

- **Búsqueda de alimento:** Los condrictios pueden detectar presas a grandes distancias gracias a su agudo sentido del olfato.
- **Navegación y orientación:** Utilizan olores para navegar en su entorno, encontrar rutas migratorias y localizar lugares familiares.

- **Reproducción:** Los olores juegan un papel crucial en la atracción de parejas y el reconocimiento sexual.

- **Comportamiento social:** Los condrictios emplean olores para comunicarse entre sí, establecer jerarquías sociales y evitar conflictos.

- **Defensa:** Algunos condrictios pueden detectar depredadores o amenazas potenciales a través de olores.

En los osteíctios, el cerebelo y los lóbulos ópticos son las estructuras encefálicas que presentan un mayor grado de desarrollo. Los lóbulos ópticos, también conocidos como *tectum opticum*, son dos estructuras prominentes ubicadas en el mesencéfalo. La información visual captada por la retina es transmitida al cerebro a través de los nervios ópticos, donde es procesada para dar lugar a las respuestas conductuales pertinentes.

En el bulbo raquídeo de los osteíctios, se encuentran dos neuronas gigantes llamadas células de Mauthner. Estas células, con un diámetro que puede llegar a 1 milímetro, son las neuronas más grandes del sistema nervioso en los vertebrados y tienen una función clave en la coordinación de movimientos rápidos y en la reacción ante estímulos sensoriales. (Mueller & Roth 2013).

Las células de Mauthner están involucradas en una variedad de funciones cruciales para la supervivencia de los osteíctios:

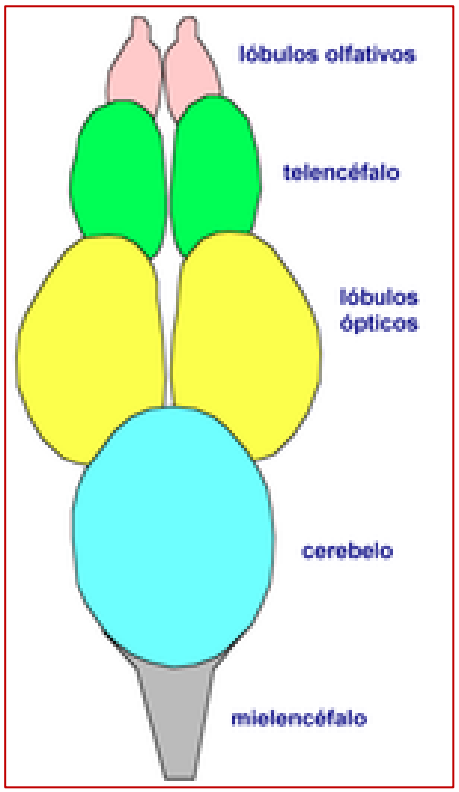
- **Respuesta de escape:** Ante un estímulo sensorial repentino, como un depredador que se acerca, las células de Mauthner generan una señal poderosa que desencadena una respuesta de escape rápida y coordinada. Esta respuesta involucra la contracción de músculos específicos para generar un movimiento brusco que permite al pez alejarse del peligro.

- **Equilibrio y locomoción:** Las células de Mauthner también participan en el control del equilibrio y la locomoción, modulando la actividad de las neuronas motoras que controlan los músculos del cuerpo.

- **Modulación sensorial:** Las células de Mauthner pueden influir en el procesamiento de información sensorial de otros sistemas sensoriales, como la visión y la audición, lo

que les permite a los peces integrar información de diferentes fuentes para una mejor toma de decisiones.

Fig. 7.10. Encéfalo de osteíctios



Nota: La figura muestra un esquema del encéfalo de peces osteíctios, tomado de*: https://es.wikipedia.org/wiki/Pez*

7.2.1.2 Sistema nervioso en anfibios

El encéfalo está más desarrollado que en los peces, especialmente en el telencéfalo. El cerebro es de tamaño reducido y el sistema principal de control corporal es el tectum del mesencéfalo. En los urodelos, el bulbo raquídeo contiene las dos células de Mauthner.

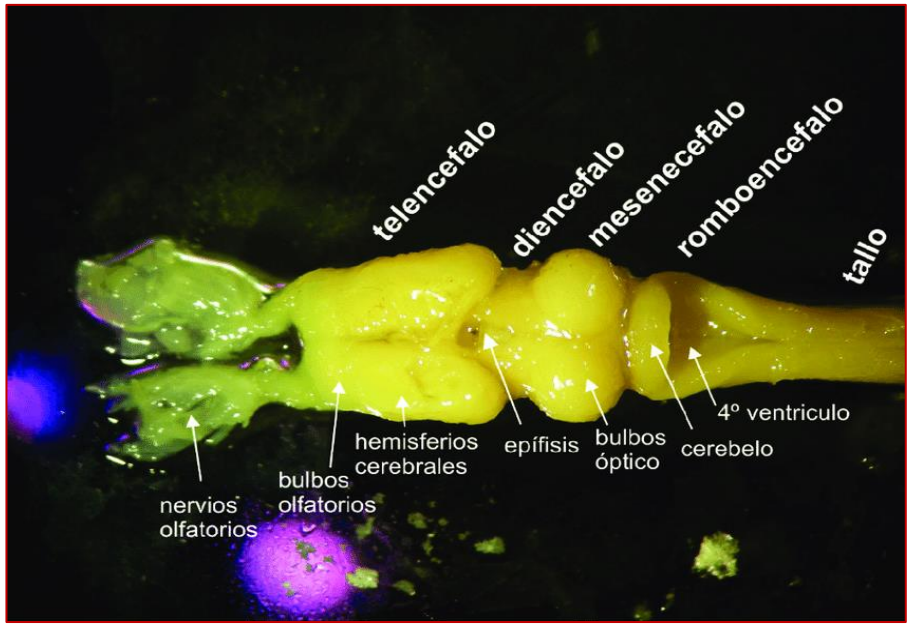
El sistema nervioso de los anfibios tiene algunas características que reflejan su estilo de vida anfibio. Estas características incluyen (Wake, 2011):

- **Línea lateral:** Los anfibios tienen una línea lateral, que es un órgano sensorial que detecta vibraciones en el agua. La línea lateral es importante para la navegación, la caza y la detección de depredadores.

- **Electrosentido:** Algunos anfibios, como las ranas electrosensoriales, pueden detectar campos eléctricos débiles. Esta capacidad les ayuda a encontrar presas en la oscuridad o en aguas turbias.

- **Metamorfosis:** El sistema nervioso de los anfibios sufre cambios importantes durante la metamorfosis. Un ejemplo de esto es que el cerebro de un renacuajo tiene muchas células especializadas en procesar la información sensorial proveniente del agua, mientras que, en una rana adulta, una mayor cantidad de células está enfocada en procesar la información sensorial relacionada con la tierra.

Fig. 7.11. Encéfalo de un anuro



Nota: la figura muestra la anatomía del encéfalo de un anuro (Orden: Anura=, tomado de *https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Cerebro-de-anuro-Phyllomedusa-spFoto-A-Manzano_fig5_320563697*

7.2.1.3 Sistema nervioso en reptiles

El encéfalo de los reptiles es estrecho y alargado, más desarrollado que los anfibios, son notables los grandes lóbulos ópticos; en la bóveda del diencéfalo se encuentran el ojo parietal, también conocido como el "tercer ojo", es una estructura vestigial que se encuentra en algunos reptiles. Es una glándula fotosensible ubicada en la parte superior de la cabeza, entre los dos ojos. El ojo pineal está formado por una retina y un cristalino, y está conectado al cerebro por un nervio.

En la mayoría de los reptiles, el ojo pineal no está bien desarrollado y no juega un papel importante en la visión. Sin embargo, en algunos reptiles, como la tuátara (reptiles similares a las iguanas) y algunas lagartijas, el ojo pineal está mejor desarrollado y puede ayudar a regular los ritmos circadianos y otros procesos fisiológicos.

Funciones del ojo pineal en reptiles (Jones & Fernández, 2007):

- **Regulación de los ritmos circadianos:** El ojo pineal juega un papel importante en la regulación de los ritmos circadianos, que son los ciclos naturales de 24 horas de actividad y descanso. El ojo pineal detecta la luz y envía señales al cerebro, que luego las usa para regular la producción de melatonina, una hormona que ayuda a controlar el sueño.

- **Detección de depredadores:** En algunos reptiles, el ojo pineal también puede ayudar a detectar depredadores.

- **Comportamiento de apareamiento:** El ojo pineal también puede jugar un papel en el comportamiento de apareamiento de algunos reptiles.

7.2.1.4 Sistema nervioso en aves

El encéfalo presenta un notable incremento en su desarrollo en comparación con los reptiles, evidenciado por una reducción de los lóbulos olfatorios y un aumento significativo en el tamaño de los lóbulos ópticos y el cerebelo. Los lóbulos ópticos, son una estructura fundamental del cerebro de las aves, encargados de procesar una amplia gama de información visual. A diferencia de los mamíferos, donde la corteza visual cerebral domina el procesamiento visual, en las aves, los lóbulos ópticos desempeñan un papel crucial en la percepción, el control motor y la coordinación (Ulloa & Fuentes, 2011).

Los lóbulos ópticos de las aves son capaces de un procesamiento visual complejo, incluyendo:

- **Detección de movimiento:** Fundamental para la captura de presas, la evasión de depredadores y el vuelo.
- **Reconocimiento de patrones:** Permite a las aves identificar objetos, caras y hábitats.
- **Percepción de la profundidad:** Esencial para la navegación y el aterrizaje preciso.
- **Control de la mirada:** Permite a las aves enfocar y seguir objetos en movimiento.
- **Ritmos circadianos:** Influyen en la regulación de los ciclos de sueño-vigilia y la migración.

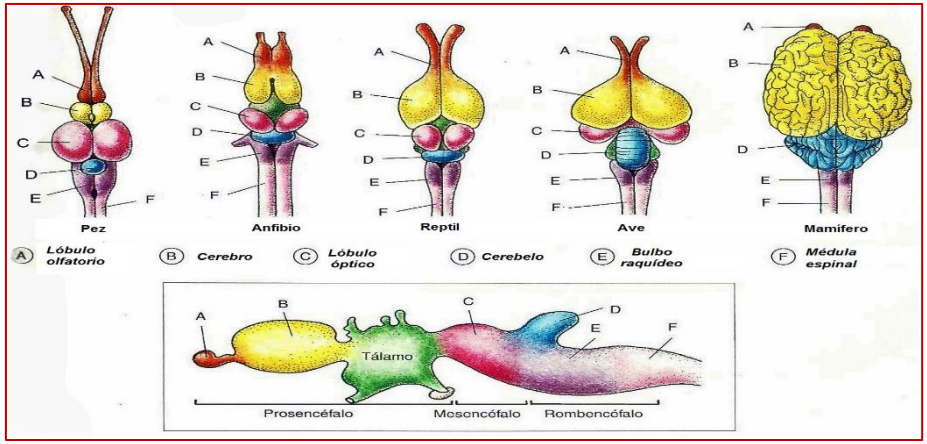
El cerebelo de las aves, juega un papel crucial en la coordinación del movimiento, el equilibrio y la postura. El cerebelo es particularmente importante para las aves, ya que participa en el control del vuelo. Su capacidad para coordinar movimientos

complejos y rápidos, ajustar la postura en el aire y responder a cambios repentinos en el entorno sensorial es esencial para el vuelo exitoso.

7.2.1.5 Sistema nervioso en mamíferos

Máximo desarrollo del encéfalo, los hemisferios cerebrales son los más grandes. Poseen una corteza cerebral gruesa; que en los mamíferos superiores (como primates, delfines, orcas); presentan surcos, cisuras y circunvoluciones, en mamíferos primitivos.

Fig. 7.12. Encéfalo en vertebrados



Nota: La figura muestra los diferentes encéfalos de vertebrados, tomado de *https://culturacientifica.com/2017/07/25/evolucion-los-sistemas-nerviosos-tronco-encefalico-cerebelo/*

7.2.2 SISTEMA NERVIOSO HUMANO

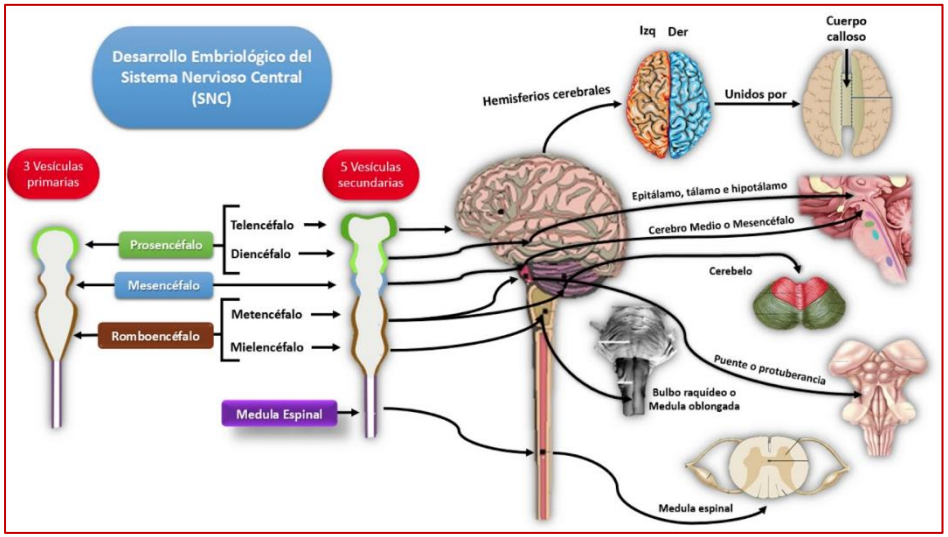
El tejido nervioso está distribuido en dos sistemas: el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico. El sistema nervioso central está constituido por el encéfalo y la médula espinal; el sistema nervioso periférico por los ganglios nerviosos periféricos, nervios y terminaciones nerviosas. En el tejido nervioso hay dos tipos de células: células nerviosas o neuronas y células de la glía (Geneser, 1998). El sistema nervioso abarca todo el tejido nervioso del cuerpo, y su función primordial es la comunicación. Las células nerviosas están diseñadas específicamente para este propósito, con extensiones muy largas y características particulares. (Brüel, 2014).

7.2.2.1 Desarrollo embriológico del sistema nervioso

Durante la tercera semana de gestación en humanos se presenta un evento importante denominado gastrulación, durante este proceso el embrión pasa de ser una estructura organizada en dos capas (epiblasto e hipoblasto) a una formada por tres capas (ectodermo, mesodermo y endodermo). En esta etapa se presenta el primer indicio de formación del sistema nervioso: el establecimiento de la placa neural; terminando la tercera semana

empieza un proceso llamado neutralización, que consiste en la formación del tubo neural, que posteriormente, durante la cuarta semana, inicia una diferenciación macroscópica en la parte anterior, que consiste en la formación de 3 vesículas primarias: El cerebro anterior o prosencéfalo, el cerebro medio o mesencéfalo y el cerebro posterior o romboencéfalo, separadas entre sí por constricciones, mientras que el tubo neural restante (no diferenciado) se convierte en la médula espinal.

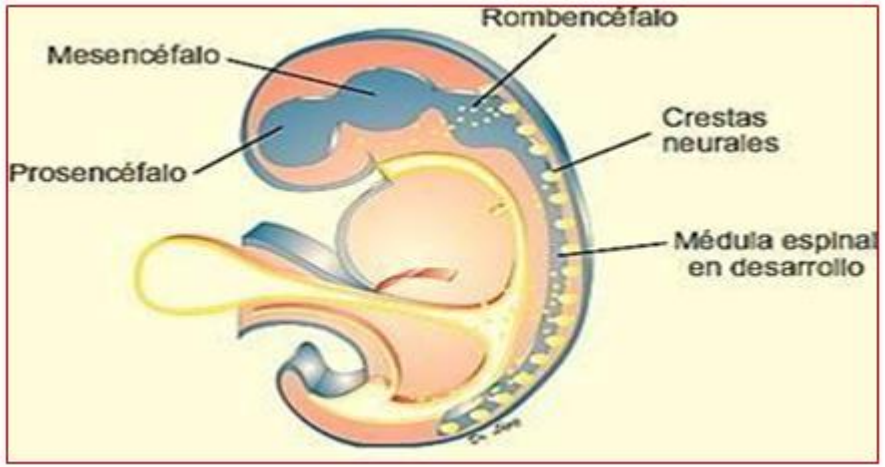
Fig. 7.13. Desarrollo Embriológico del sistema nervioso



Nota: La figura representa el desarrollo embriológico del sistema nervioso, tomado de Atlas de Histología. Leslie Gartner. Segunda edición (2013)

Posteriormente, se forman las vesículas secundarias a partir de las primarias: El prosencéfalo se subdivide en dos vesículas secundarias, una anterior llamada telencéfalo y una posterior, el diencéfalo. El telencéfalo forma los hemisferios cerebrales con los ventrículos laterales (Primer y segundo ventrículo); mientras el diencéfalo genera las regiones talámicas e hipotalámicas y el tercer ventrículo. El mesencéfalo no se divide y su luz origina al acueducto cerebral o acueducto de Silvio. Por otro lado, el romboencéfalo se subdivide en metencéfalo, ubicado en la parte más anterior del cerebro posterior, origen del cerebelo, y en el mielencéfalo, que forma la médula oblonga. Ambas vesículas formadoras del cuarto ventrículo.

Fig. 7.14. Las tres vesículas primarias



Nota: La figura representa las tres vesículas primarias del desarrollo embriológico del SN, tomado de *https://accessmedicina.mhmedical.com /data/books/1476/lopez_ch 20_fig-ch20-05.png*

7.2.2.2 Sistema Nervioso de Relación (SNR)

Encargado de recibir y procesar información del medio para luego elaborar y emitir respuestas. La respuesta del SNR es voluntaria, está constituido por el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico.

<table>
<tr><td rowspan="8">Sistema Nervioso de Relación (SNR)</td><td rowspan="5">Sistema Nervioso Central (SNC)</td><td rowspan="5">Encéfalo</td><td colspan="2">Cerebro</td></tr>
<tr><td colspan="2">Diencéfalo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cerebelo</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Tronco encefálico</td><td>Mesencéfalo</td></tr>
<tr><td>Protuberancia</td></tr>
<tr><td>Bulbo Raquídeo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Médula espinal</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Sistema Nervioso Periférico (SNP)</td><td colspan="3">12 pares de Nervios Craneales</td></tr>
<tr><td colspan="3">31 pares de Nervios Espinales</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Sistema Nervioso Autónomo (SNA)</td><td colspan="4">Sistema Nervioso Simpático</td></tr>
<tr><td colspan="4">Sistema Nervioso Parasimpático</td></tr>
</table>

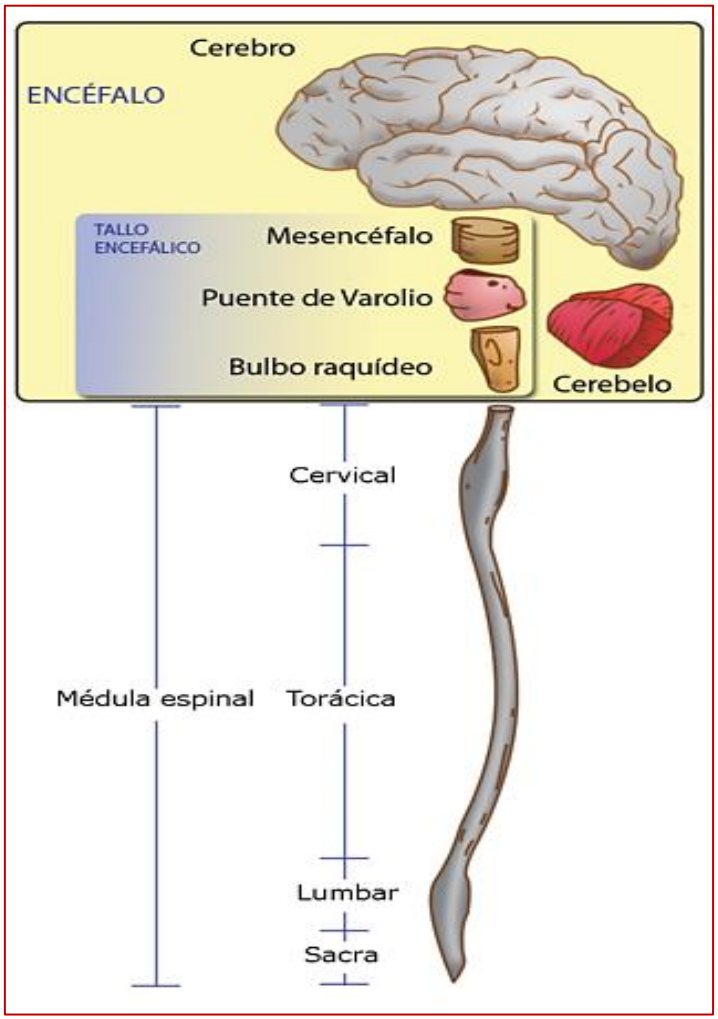
7.2.2.2.1 Sistema Nervioso Central (SNC)

El sistema nervioso central, está constituido por el encéfalo y la médula espinal, que poseen membranas protectoras (meninges), y envolturas óseas (cráneo y columna vertebral).

A. Encéfalo:

El encéfalo es el centro nervioso contenido dentro del cráneo, está constituido por el cerebro, el diencéfalo, el cerebelo y el tronco o tallo encefálico.

Fig. 7.15. Sistema Nervioso Central



Nota: La figura representa el sistema nervioso central y las partes que la componen, tomado de *https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a8/SNerviosoC.png/245pxSNerviosoC.png*

a. Cerebro:

Llamado también telencéfalo, es el órgano más voluminoso, pesa entre 1200 a 1500 gr. Ocupa la mayor parte del cráneo y presenta dos mitades llamados hemisferios cerebrales, unidos por el cuerpo calloso. Cada hemisferio cerebral se encuentra dividido en 4 lóbulos por medio de cisuras o surcos, cuyos nombres están relacionados con los huesos que lo cubren: frontal, parietal, temporal y occipital.

Su superficie está formada por una capa de sustancia gris que recibe el nombre de corteza cerebral o *palium*, es delgada, mide entre 2 a 4 mm de espesor y es el lugar donde las funciones del cerebro se llevan a cabo, está llena de pliegues llamados circunvoluciones, divididos entre sí por medio de depresiones; las más profundas reciben el nombre de cisuras y las menos profundas, surcos. Por debajo de la corteza, se encuentra la sustancia blanca formada por axones mielinizados, que se extienden en tres direcciones principales dando lugar a tres tipos de fibras:

- **De asociación:** Conectan dos zonas de la corteza cerebral de un mismo hemisferio.
- **Comisurales o interhemisféricas:** Conectan dos zonas de la corteza cerebral; pero de diferentes hemisferios.
- **De proyección:** Conectan las zonas de la corteza cerebral con otros centros nerviosos. Constituyen vías ascendentes y descendentes que conducen los impulsos.

a.1. Funciones de la corteza cerebral

i. Función motora: La realiza el área motora que se encuentra ubicado en el lóbulo frontal y se denomina homúnculo motor, el cual genera los impulsos nerviosos que controlan los movimientos corporales.

ii. Función sensitiva general: La realiza el área somato-sensitiva que se encuentra en el lóbulo parietal y se denomina homúnculo sensorio, a donde llegan los impulsos nerviosos generados en los receptores sensoriales cutáneos de tacto, la propiocepción, el dolor y la temperatura.

iii. Función sensitiva especifica: Recibe impulsos nerviosos generados en los órganos de los sentidos, está formado por el Área visual: lóbulo occipital, Auditiva: lóbulo temporal, Olfatoria: Uncus del hipocampo y Gustativa: en

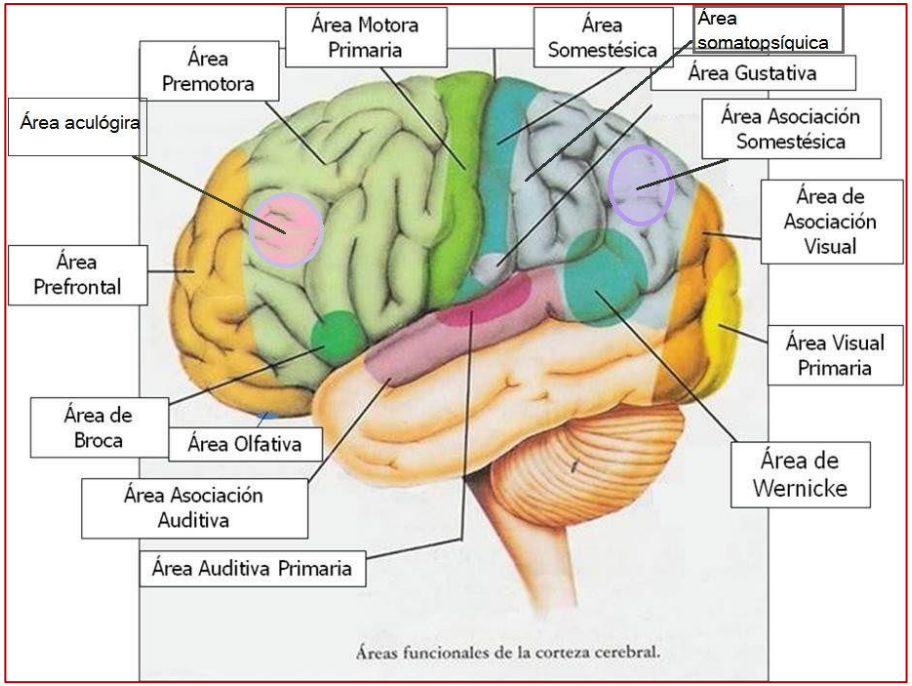
la base de la circunvolución post-rolandica del lóbulo parietal del cerebro.

iv. Función de asociación: Realizada por vías que conectan áreas sensitivas con áreas motoras. Están vinculadas a las funciones mentales superiores, las habilidades cognitivas, el estado de consciencia y la personalidad. Las más importantes son:

- ✓ **Área de Broca:** Se localiza en el lóbulo frontal justo por arriba de la cisura de Silvio. Es el área motora del lenguaje.
- ✓ **Área de Wernicke:** Situado por detrás de la corteza auditiva primaria. Es el área sensitiva del lenguaje hablado. Se relaciona con la capacidad para entender el lenguaje hablado.
- ✓ **Área pre-frontal:** Es anterior a las áreas motoras se relaciona con funciones intelectuales, emocionales y sociales; también es el lugar de la creatividad, pensamiento, imaginación, voluntad, conciencia, emociones, memoria, razonamiento, etc.

Cuando por cualquier causa los centros motores de un hemisferio se lesionan; queda paralizada la mitad del cuerpo opuesta al lado lesionado, esta parálisis se denomina hemiplejía y si se lesionan los dos hemisferios cerebrales, cuadriplejía.

Fig. 7. 16. Funciones del cerebro



Nota: La figura representa las funciones del cerebro, según las distintas zonas, tomada de *https://www.goconqr.com/mapamental/4063207/areas-cerebrales*

b. Diencéfalo

Se localiza en la parte central e inferior del cerebro, está constituido por el tálamo y el hipotálamo.

b.1 Tálamo: Son dos masas ovoides de sustancia gris, mide 3cm de longitud aproximadamente. Se localiza a ambos lados del tercer ventrículo y debajo del cuerpo calloso.

Funciones:

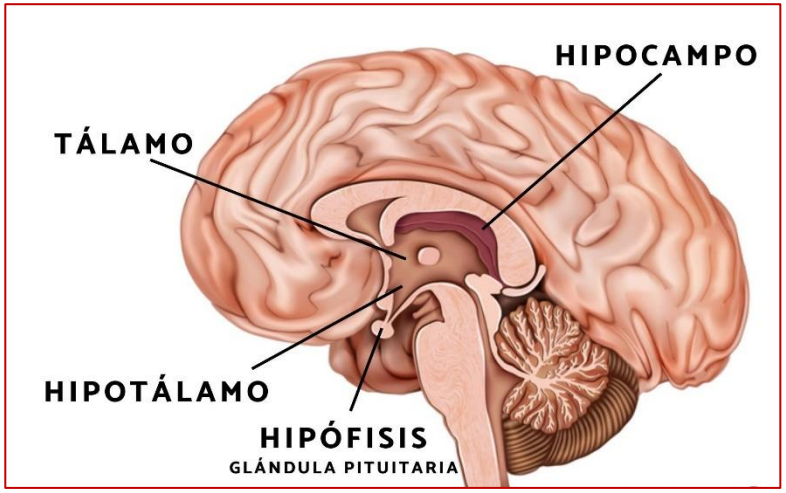
- ✓ Funciona como un centro de integración sináptica para el procesamiento de las señales sensoriales del cuerpo hacia su trayecto a la corteza cerebral; actuando como un centro de relevo para los impulsos sensitivos, excepto los olfatorios.
- ✓ Participa en las emociones, integra la conciencia, aprendizaje, memoria, etc.

b.2 Hipotálamo: Estructura nerviosa ubicada debajo del tálamo, está formada por varios núcleos que cumplen diferentes funciones. Controla actividades corporales y es un centro de regulación de la homeóstasis.

Funciones:

- ✓ Controla el sistema endocrino mediante la regulación de la glándula hipófisis.
- ✓ Regula la temperatura corporal: Ante cambios de temperatura, el hipotálamo estimula mecanismos que favorecen la pérdida o retención del calor.
- ✓ Regula la ingesta de alimentos mediante los centros del hambre y saciedad.
- ✓ Regula la ingesta de líquidos mediante el centro de la sed.
- ✓ Es uno de los centros de regulación del sueño y vigilia.
- ✓ Regulación de las emociones y comportamiento: Junto con el sistema límbico, el hipotálamo regula comportamientos regulados con la ira, agresividad, dolor, placer y excitación sexual.

Fig. 7.17. Partes del Diencéfalo



Nota: La figura representa las partes del diencéfalo, tomado de https://www.psicologia-online.com/talamo-que-es-funciones-y-ubicacion-6013.html

c. Cerebelo

Ocupa la porción inferior y posterior de la cavidad craneana, pesa aproximadamente 140 gramos, presenta una zona central estrecha que recibe el nombre de vermis y los lóbulos laterales llamados hemisferios cerebelosos, cada hemisferio consta de lóbulos, separados por medio de cisuras. La superficie del cerebelo, llamada corteza cerebelosa, está formada por sustancia gris y por debajo de ella, se encuentran los fascículos de sustancia blanca.

c.1 Morfología Interna

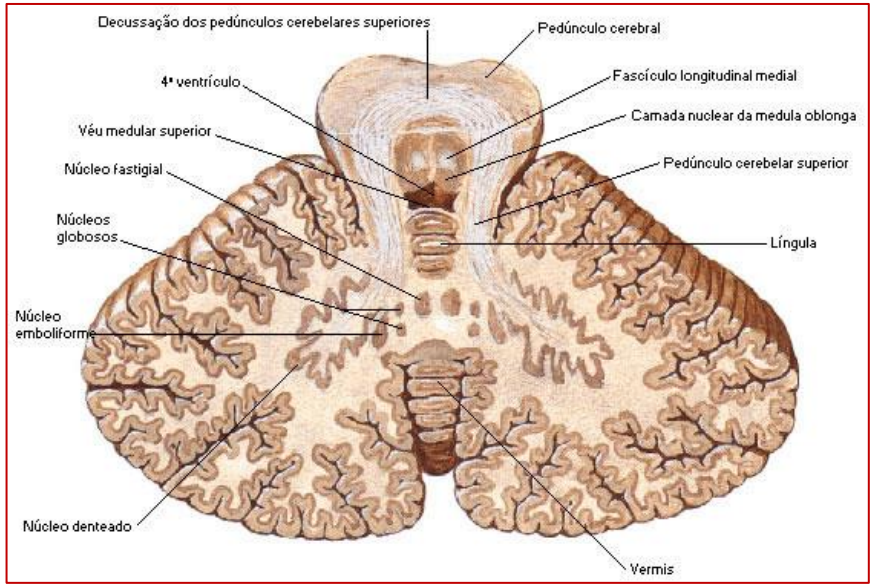
Formado por sustancia gris y sustancia blanca.

i. Sustancia gris: Es periférica y central (núcleos), se encuentra conformado por la corteza cerebelosa y los núcleos cerebelosos.

ii. Sustancia blanca: Se ubica centralmente, tiene una disposición que se asemeja a un árbol (denominado también como el “árbol de la vida”), desde donde se irradia formando tres pares de paquetes de fibras (que lo comunican con el tronco encefálico), llamadas pedúnculos cerebelosos:

- **Pedúnculos cerebelosos inferiores**: Conectan al cerebelo con el bulbo raquídeo.
- **Pedúnculos cerebelosos medios:** Conectan al cerebelo con la protuberancia anular.
- **Pedúnculos cerebelosos superiores:** Comunican el cerebelo con el mesencéfalo.

Fig. 7.18. Anatomía interna del cerebelo



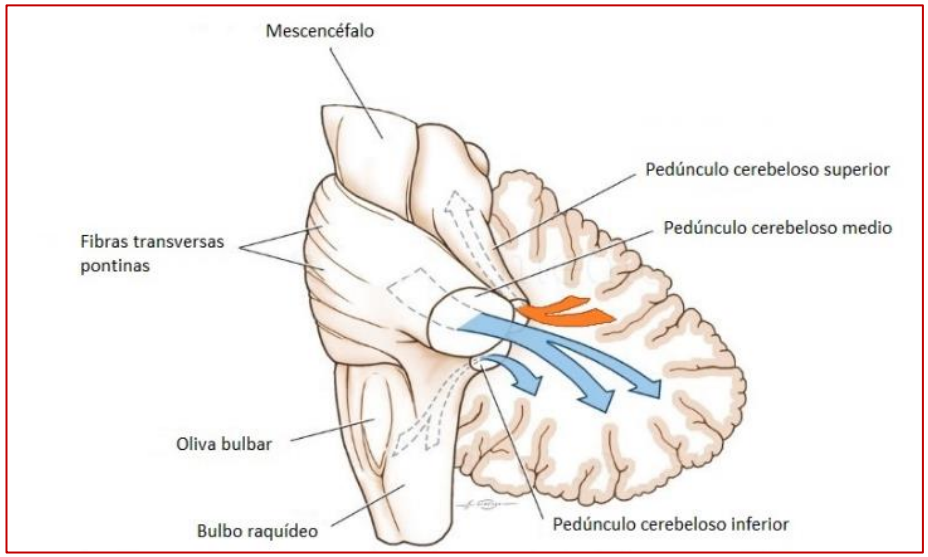
Nota: La figura representa la Anatomía interna del cerebro, tomado de https://www.auladeanatomia.com/es/sistemas/364/cerebelo

c.2 Funciones del cerebelo

- **Arquicerebelo o Vestibulocerebelo:** Regula el equilibrio y la posición corporal.
- **Paleocerebelo o Espinocerebelo:** Regula el tono muscular (estar de pie), permite la contracción de grupos de músculos antagonistas.

- **Neocerebelo, Cerebrocerebelo o Pontocerebelo:** Permite la coordinación de los movimientos voluntarios, manipulación y el habla. La lesión de este núcleo produce dismetría cerebelosa.

Fig. 7.19. Pedúnculos cerebelosos

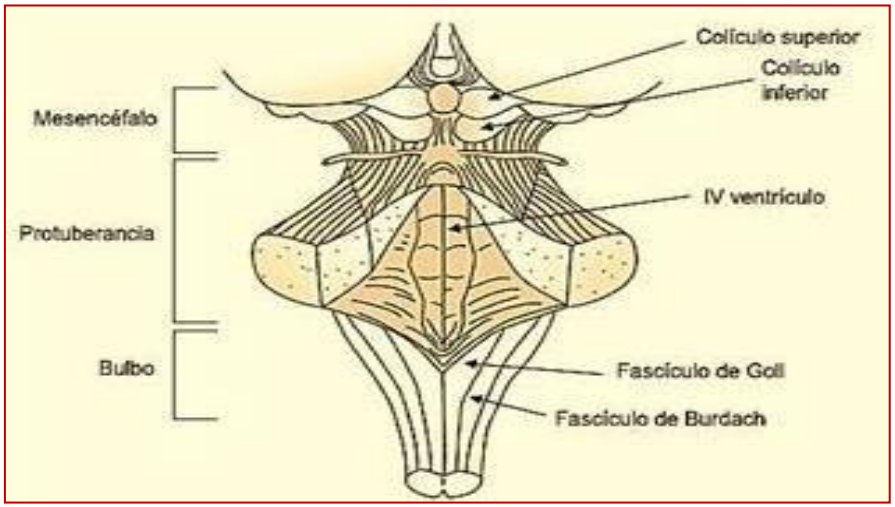


Nota: La figura representa la morfología interna del cerebro (los pedúnculos cerebelosos), tomado de *https://pbs.twimg.com/media/EwnqTCGWgAgnc1I.jpg*

d. Tronco Encefálico

Llamado tallo cerebral, comunica la médula espinal con el cerebro y el cerebelo. Está ubicado en la fosa posterior del cráneo, pasa por el foramen magno del occipital y termina a nivel del atlas. Está comunicado con 10 de los 12 pares craneales. Comprende tres estructuras:

Fig. 7.20. Partes del tronco encefálico



Nota: La figura representa las partes del tronco encefálico, tomado de *https://www.psicoactiva.com/blog/tron co-encefalico- anatomia-estructuras-funcion/*

d.1 Mesencéfalo: Se encuentra entre diencéfalo y la protuberancia anular. En su parte posterior y medial se ubica el acueducto de Silvio, que contiene LCR y comunica el III y IV ventrículos. Entre sus núcleos, se encuentran: La sustancia negra (relacionada con la producción de dopamina) y los núcleos rojos izquierdo y derecho, los cuales participan en la regulación subconsciente de la actividad muscular. En su cara anterior presenta los pedúnculos cerebrales (2 cordones nerviosos) que unen la corteza cerebral con la médula espinal. En su cara posterior presenta a los tubérculos cuadrigéminos (cuatro) que son intermediarios subcorticales de la visión y audición.

Funciones:

- Centro de nervios craneales III (Motor ocular común) y IV (Patético).
- Regula el reflejo visual y auditivo.
- Regula la micción.
- Fabrica dopamina

d.2 Protuberancia anular (Puente de Varolio): Ubicada entre el mesencéfalo y el bulbo raquídeo, es el segmento más prominente del tronco encefálico. Posee gruesos paquetes de fibras que se comunican con el cerebelo y van hasta los principales centros cerebrales.

Funciones:

- Vía de conducción, posee fascículos ascendentes (Sensitivos) y descendentes (Motores) que van de la médula al cerebro y viceversa.
- Aquí se encuentran el área neumotáxica y la apnéustica que participan (junto con el bulbo) en la respiración. El

centro neumotáxico se encarga de inhibir la inspiración para que ocurra la espiración y el centro apneusico estimula la inspiración.

- Centro de nervios craneales V (Trigémino), VI (Motor ocular externo), VII (Facial) y VIII (Rama vestibular).

d.3 Bulbo raquídeo (Médula oblonga o mielencéfalo): Parte inferior del tronco encefálico, tiene la forma de un cono truncado, es continuo con la parte superior de la médula espinal.

Funciones:

- Vía de conducción, al igual que la protuberancia anular, se encuentran los fascículos ascendentes (Sensitivos) y descendentes (Motores) que comunican la médula espinal con el encéfalo.
- Centro de los reflejos vitales, como el cardiaco, respiratorio y vaso- constrictor. Por ello las lesiones en la base del cráneo al afectar el tronco cerebral pueden ser mortales.
- Coordina funciones no vitales tales como la deglución, tos, vómitos, estornudo, hipo, bostezo y nauseas.
- Coordina la regulación de los estados de conciencia y vigilia.
- Centro de nervios craneales VIII (Rama coclear), IX (Glosofaríngeo), X (Vago), XI (Espinal), XII (Hipogloso).

B. Médula Espinal:

Es un cordón nervioso protegido por la columna vertebral, se extiende desde la primera vértebra cervical (C1) hasta la 1ra o 2da vértebra lumbar (L1-L2). Mide aproximadamente entre 43 a 45 cm, con un peso de 26 a 30 gramos en el varón.

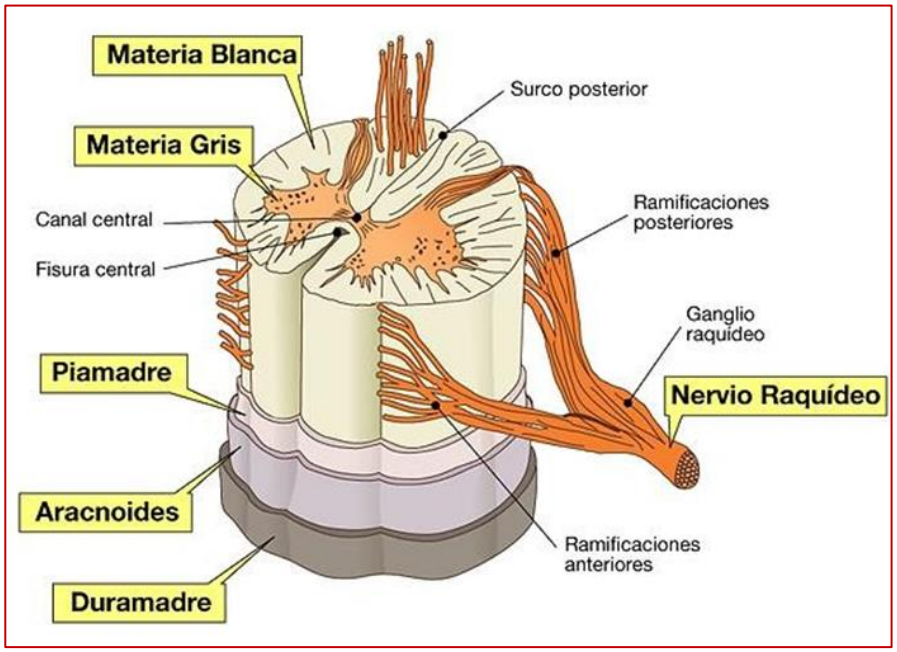
a. Anatomía externa: Presenta cuatro caras (anterior, posterior y dos laterales), dos surcos que dividen a la médula en mitad derecha y mitad izquierda y 31 pares de nervios raquídeos o espinales que salen de cada uno de los lados de la médula espinal. Presenta un engrosamiento cervical y otro lumbar (que dan origen a los nervios de las extremidades). La porción terminal la constituye el cono medular, del cual emerge el Filum terminale. Algunos nervios lumbares y sacros forman la “cola de caballo”. Cada nervio espinal se conecta con un segmento de la médula espinal a través de dos haces de axones llamados raíces. La raíz posterior o dorsal solo transporta fibras sensoriales y lleva los impulsos nerviosos desde la periferia hacia el sistema nervioso central. Además, cada raíz tiene un engrosamiento, conocido como ganglio de la raíz posterior o dorsal, donde se encuentran los cuerpos celulares de las neuronas sensoriales. La raíz anterior o ventral contiene los axones de las neuronas motoras,

que transmiten impulsos desde el sistema nervioso central hacia los órganos o células efectoras.

b. Anatomía interna:

- **Sustancia gris:** Ocupa la parte central, tiene una disposición que al corte transversal se asemeja a una letra H. Rodea al conducto del epéndimo, por el cuál circula el líquido céfalo raquídeo (LCR).
- Posee astas anteriores (Motoras), posteriores (Sensitivas), laterales (Vegetativas) y la comisura gris.
- **Sustancia blanca:** Es periférica, rodea a la sustancia gris. Se divide en cordones anteriores, laterales y posteriores. Por la sustancia blanca se establece una comunicación bidireccional: las señales motoras se transmiten desde el cerebro hacia la médula espinal y los músculos, mientras que las sensaciones viajan desde el cuerpo hacia el cerebro a través de esta misma vía.

Figura 7.21. Anatomía interna de la medula espinal



Nota: La figura representa la anatomía interna de la medula espinal, tomado de *https://static.wixstatic.com/media/88b33e_1fc036a65b5e475d9a9a9921fbfdb14b~mv2.png/v1/fill/w_573,h_481,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/88b33e_1fc036a65b5e475d9a9a9921fbfdb14b~mv2.png*

Funciones:

- Vía de conducción ascendente (impulsos sensitivos) y descendente (impulsos motores).

- La médula espinal también es el lugar donde nacen los nervios espinales que son 31 pares.
- Centro de actos reflejos: (analiza la información recibida para dar una respuesta).
- Acto reflejo: Respuesta inmediata de un órgano efector (músculo o glándula), de manera involuntaria ante un estímulo.
- Arco reflejo: Circuito nervioso formado por un órgano receptor, una neurona aferente o sensitiva, una neurona intercalar o asociativa, una neurona eferente o motora y un órgano efector.

C. Cubiertas y protección del sistema nervioso central

La médula espinal y el encéfalo están cubiertos por envolturas continuas llamadas meninges, que protegen al encéfalo de golpes o traumatismos. Presentan:

a. Duramadre (Paquimeninge): Es externa y está constituida por 2 hojas de tejido conectivo denso irregular (duramadre craneal y raquídea). Está en contacto con el cráneo. Presenta vasos sanguíneos que llevan sangre venosa.

b. Aracnoides (Leptomeninge): Es intermedia (debajo de la duramadre y encima de la piamadre) y está constituida por mesotelio y tejido conectivo rico en fibras colágenas y elásticas. No tiene vasos sanguíneos. Está unida a la piamadre por una red de trabéculas y entre ambas se ubica el espacio sub-aracnoideo, en el cual circula el líquido cefalorraquídeo (LCR).

c. Piamadre (Leptomeninge): Es interna y está constituida por tejido conectivo muy vascularizado (sangre arterial), la piamadre envuelve íntimamente a la médula espinal y encéfalo, penetrando cisuras y surcos.

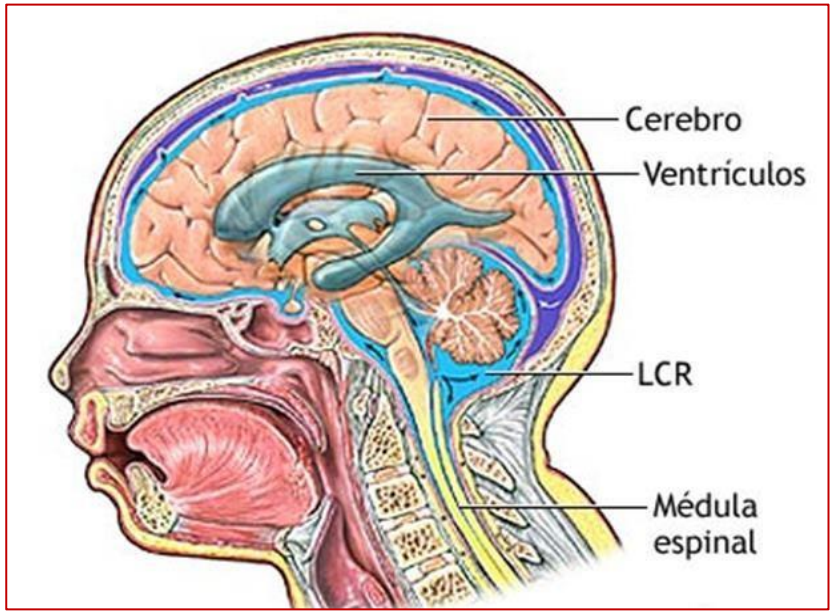
D. Líquido Cefalorraquídeo (LCR):

Es un líquido incoloro que se forma mayormente en los plexos coroideos, que son redes de capilares que actúan en conjunto con las células ependimarias para formar LCR a partir de la filtración del plasma sanguíneo.

Una vez formado el LCR, circulará por los 4 ventrículos, el conducto ependimario de la médula espinal y el espacio subaracnoideo.

En condiciones normales es cristalino, transparente incoloro e inodoro. Diariamente se secretan 500 ml. de LCR, por lo que este se recambia tres veces al día. Está constituido por glucosa, proteínas, ácido láctico, urea, y sales minerales; también contiene algunos linfocitos. Protege al encéfalo y a la médula espinal, les proporciona oxígeno, transporta nutrientes y productos de desecho.

Fig. 7.22. Líquido cefalorraquídeo



Nota: La figura representa el LCR, tomado de *https://medlineplus.gov/spanish/ency/images/ency/fullsize/12723.jpg*

7.2.2.2.2 Sistema Nervioso Periférico (SNP)

El sistema nervioso periférico, constituido principalmente por nervios espinales, establece las conexiones necesarias para que el SNC reciba información del entorno y envíe respuestas hacia los tejidos efectores. Formado por nervios y ganglios que se encuentran fuera del sistema nervioso central:

- **Nervio:** Conjunto de axones que van a formar un tronco nervioso, pueden ser motores o sensitivos y mielinizados o no mielinizados.
- **Ganglio:** Donde se encuentran los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas de la raíz posterior (dorsal).

División:

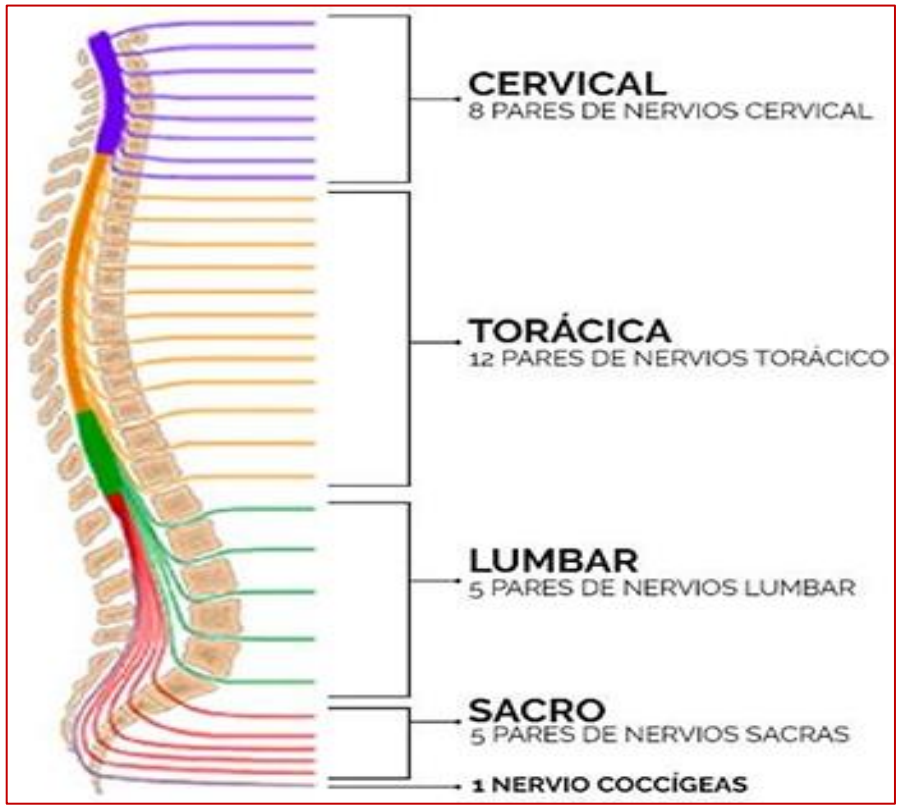
A. Nervios Espinales

Conformado por 31 pares de nervios espinales que surgen de la médula espinal. Cada uno de estos nervios posee dos raíces: una raíz ventral (anterior), que contiene fibras nerviosas motoras para controlar los músculos, y una raíz dorsal (posterior), que transporta información sensorial desde la piel y otros órganos hacia el sistema nervioso central. Cada nervio espinal o raquídeo se une en dos puntos distintos a la médula espinal: tiene una raíz

posterior y una raíz anterior. Las raíces posterior y anterior se unen para formar el nervio raquídeo. Como la raíz posterior contiene fibras sensitivas y la raíz anterior contiene fibras motoras; un nervio raquídeo es un nervio mixto, al menos en su origen.

Se distribuyen en 8 pares de nervios cervicales (inervan a la piel, músculos de la cabeza, cuello, parte superior del hombro y tórax), 12 pares de nervios dorsales (inervan la mayoría de los músculos del brazo, antebrazo y mano) 5 pares de nervios lumbares (inerva la pared abdominal anterolateral, genitales externos y parte de las extremidades inferiores), 5 pares de nervios sacros (inerva el perineo, glúteos, miembros inferiores), 1 par de nervios coccígeos (inervan el músculo de la pelvis, parte del elevador del ano y la articulación sacrocoxígea). Salen del conducto raquídeo por los agujeros de conjunción.

Fig. 7.23. Nervios espinales



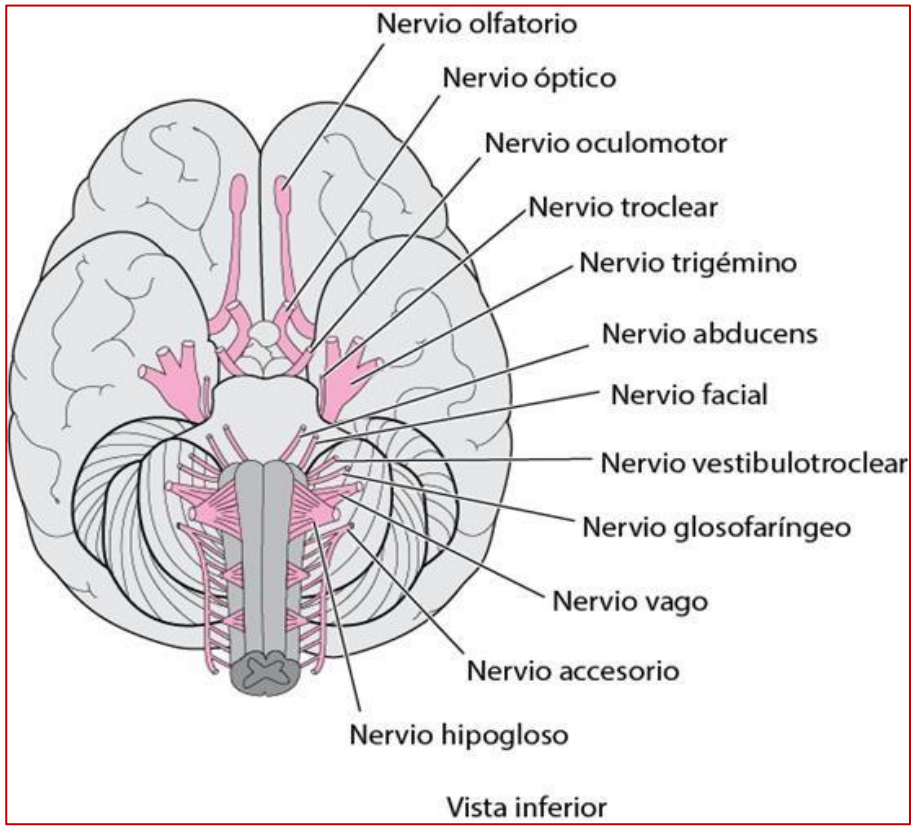
Nota:La figura representa los nervios espinales, tomado de https://blogs.ugto.mx/enfermeriaenlinea/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/AyFII-UNI2-MSYNS-06.jpg

B. Nervios Craneales:

Son 12 pares, los números romanos indican el orden en que salen del encéfalo en sentido antero-posterior, los nombres hacen referencia a su distribución o función. Algunos pares craneales solo contienen fibras sensitivas, por lo que se les denomina nervios sensitivos; el resto contienen tanto fibras motoras como sensitivas, por lo que se denominan nervios mixtos, aunque algunos de ellos son predominantemente motores.

PAR CRANEAL	NOMBRE	TIPO	FUNCIÓN
I	Olfatorio	Sensitivo	Olfato
II	Óptico	Sensitivo	Visión
III	Motor ocular Común (Oculomotor)	Motor	Motilidad del globo ocular
IV	Patético o troclear	Motor	Motilidad del globo ocular (hacia abajo)
V	Trigémino	Mixto	Rama motora: Masticación. Rama sensitiva: Sensibilidad de la cara.
VI	Motor ocular externo	Motor	Motilidad del globo ocular
VII	Facial	Mixto	Rama motora: Inerva a los músculos de la expresión facial. Rama sensorial: Gustación
VIII	Auditivo (Vestibulococlear)	Sensitivo	Rama coclear: Audición. Rama vestibular: Equilibrio.
IX	Glosofaríngeo	Mixto	Rama motora: Deglución. Rama sensorial: Gustación
X	Vago o neumogástrico	Mixto	Rama motora: respiración, circulación, digestión, deglución. Rama sensorial: Gustación
XI	Espinal o accesorio	Motor	. Rama bulbar: Deglución. Rama espinal: Movimiento del hombro y cabeza
XII	Hipogloso	Motor	Movimiento de la lengua y deglución

Fig. 7.24. Nervios craneales



Nota: La figura representa los nervios craneales, tomado de https://www.msdmanuals.com/-/media/manual/home/images/n/e/u/neu_cranial_nerves_es.gif?thn=0&sc_lang=es

7.2.2.3 Sistema Nervioso Autónomo, Vegetativo o Involuntario

Denominado sistema neurovegetativo o vegetativo, funciona de manera involuntaria. Es el conjunto de estructuras nerviosas que posibilitan el funcionamiento de los órganos internos y regulan las funciones automáticas del cuerpo, tales como la respiración, la circulación, la digestión y la liberación de secreciones de ciertas glándulas (hormonas), por ello, ayuda a mantener la homeostasis en el ambiente interno, por ejemplo, regula la frecuencia de los latidos cardiacos y mantiene la temperatura corporal constante; sus efectores son: el músculo liso, músculo cardiaco y glándulas; a todos ellos se les llama efectores viscerales. Solo está constituido por neuronas motoras.

Está formado por el sistema nervioso simpático y parasimpático que realizan funciones antagónicas en forma equilibrada. La función de un órgano es controlada por dos sistemas nerviosos autónomos que ejercen efectos opuestos. Estos sistemas están formados por dos tipos de neuronas: las preganglionares, ubicadas en el cerebro o médula espinal, y las postganglionares, situadas en ganglios fuera del sistema nervioso central. Las neuronas preganglionares envían señales a las

postganglionares, que a su vez conectan con los órganos para estimular o inhibir su actividad.

7.2.2.3.1 Sistema Simpático (TORACOLUMBAR):

Las neuronas preganglionares se localizan a lo largo de la sustancia gris lateral de la médula. Consta de 23 pares de ganglios situados a ambos lados de la médula torácica y lumbar. La longitud de la fibra preganglionar es corta, mientras que la longitud de la fibra postganglionar es larga. Al hacer sinapsis, la neurona preganglionar con la neurona postganglionar libera acetilcolina; mientras que al hacer sinapsis la neurona postganglionar con los órganos efectores, se libera noradrenalina.

7.3.2.3.2 Sistema Parasimpático (CRANEOSACRAL):

Sus neuronas preganglionares se localizan en el encéfalo (a partir de los núcleos parasimpáticos de los pares craneales III, VII, IX y X) y la región sacra de la médula (S2- S3), son largas; mientras que las neuronas postganglionares son cortas. Al hacer sinapsis las neuronas preganglionares con la neurona postganglionar liberan acetilcolina, y al hacer sinapsis la neurona postganglionar con los órganos efectores, se libera acetilcolina.

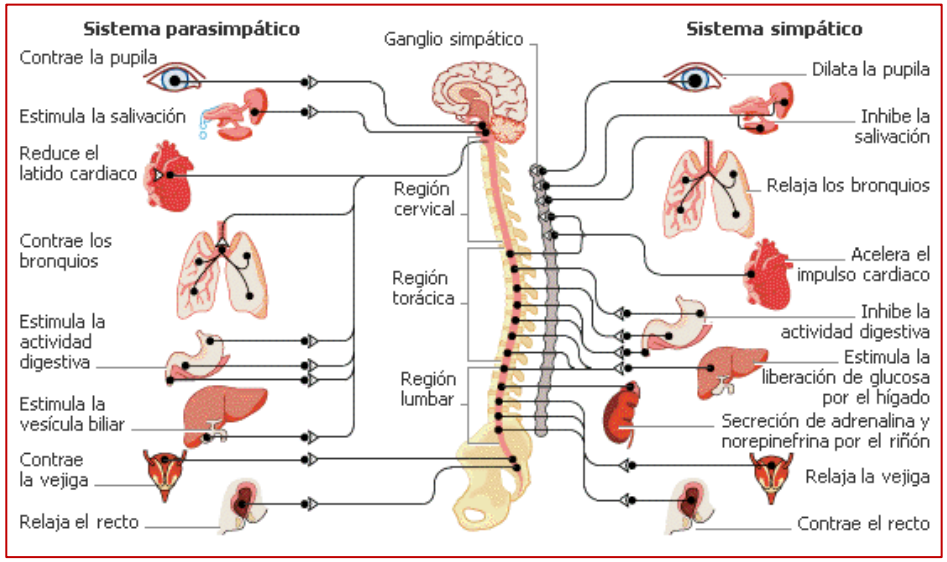
Los ganglios parasimpáticos se encuentran en el mismo órgano o muy cerca de él. Sus funciones, en general, son antagónicas a las del sistema simpático.

La estimulación general del parasimpático favorece las funciones vegetativas (salivación, vaciamiento del intestino y la vejiga, entre otros).

ÓRGANO EFECTOR	EFECTO SIMPÁTICO	EFECTO PARASIMPÁTICO
Globo ocular: pupila	Midriasis (Dilatación de la pupila).	Miosis (Disminución del diámetro de la pupila).
Glándulas lagrimales	Disminución de la secreción.	Aumento de la secreción.
Glándulas salivales	Disminución de la secreción.	Aumento de la secreción.
Aparato cardiovascular	Aumento de la frecuencia cardiaca (taquicardia).	Disminución de la frecuencia cardiaca (Bradicardia).
Aparato respiratorio	Bronco- dilatación Aumento de la Frecuencia Respiratoria	Bronco- constricción Disminución de la Frecuencia Respiratoria
Aparato digestivo Motilidad Esfínteres	Disminución Contracción	Aumento Relajación Estimulación

Secreción	Inhibición	
Vejiga urinaria	Relajación.	Contracción.
Riñón	Reduce la secreción deorina.	Aumenta la secreción de orina.
Hígado	Aumenta la conversión de glucógeno a glucosa.	Aumenta la secreción de bilis.

Fig. 7.25. Sistemas Parasimpático y Simpático



Nota: La figura representa los sistemas parasimpático y simpático, tomado de https://www.psicologia-online.com/sistema-nervioso-simpatico-y-parasimpatico-diferencias-y-funciones-3916.html

7.3 BIOMAS

Denominados también áreas bióticas o paisajes bioclimáticos. Un bioma es un conjunto de ecosistemas de estructura y organización semejantes y de gran tamaño. Se identifican por poseer determinadas características geográficas (altitud y latitud); un tipo de vegetación principal, asociada con un clima determinado (húmedo o seco; cálido, templado o frío); y un tipo de fauna particular. Es la expresión de las condiciones ecológicas del lugar a nivel regional o subcontinental.

7.3.1 CLASES DE BIOMAS

Hay diferentes sistemas de clasificación de Biomas, que generalmente suelen dividir la Tierra en dos grandes grupos: Biomas terrestres y biomas acuáticos.

7.3.1.1 Biomas terrestres

El clima, es el factor más importante que determina la distribución de los biomas terrestres. Por ejemplo, tenemos:

Fig. 7.26. Biomas terrestres

Fuente: https://ecosiglos.com/que-son-los-biomas/

A. Bosque templado caducifolio: Se ubican en zonas como el este y oeste de Estados Unidos, Canadá, Chile, Europa, China, Japón, Corea, Patagonia Argentina y Rusia europea.

Flora: Compuesta por árboles caducifolios que pierden sus hojas en temporada fría y se renuevan para la temporada cálida y lluviosa propia del clima continental húmedo, como es el caso de los bosques de robles, arces, hayas y olmos.

Fauna: Podemos encontrar: salamandras, gavilanes, pájaros carpinteros, ciervos, ardillas, castores, etc.

B. Bosque húmedo tropical: Son extensas superficies cercanas al centro del Ecuador, Sudamérica, África, Asia y Oceanía; climas muy húmedos y calurosos, provistas de lluvias abundantes en todas las estaciones y de ríos caudalosos que experimentan crecidas violentas. La temperatura oscila entre 20°C y 34°C.

Flora: Presenta grandes árboles (lupuna, caoba, cedro) y plantas trepadoras (lianas, orquídeas).

Fauna: Podemos encontrar: primates (mono araña, mono aullador), pájaros (gallito de las rocas), mamíferos como el otorongo y muchos insectos.

Este bioma es el más extendido en el Perú, representando el 59% del territorio nacional, lo que lo convierte en el segundo país con mayor extensión de bosques amazónicos. (fundacionaquae.org).

La biodiversidad que contienen es la más rica y asombrosa, pero también es la más vulnerable y amenazada de todos los biomas terrestres.

C. Taiga: El bosque boreal y la taiga se refieren al mismo tipo de bioma, y a menudo se utilizan indistintamente para describir la misma región forestal. Sin embargo, hay una distinción sutil en

cómo se utilizan estos términos: la taiga se refiere específicamente al bioma forestal de coníferas en regiones frías del hemisferio norte, mientras que el término bosque boreal puede ser más amplio y abarcar otras formas de vegetación y características geográficas en latitudes altas.

Geográficamente se sitúan en el norte de Europa, Canadá y en el estado de Alaska. Su clima presenta temperaturas que llegan a alcanzar los -40°C.

Flora: Está formada por las especies arbóreas de la familia de las coníferas, por ello es llamado también bosque de coníferas, árboles con hojas puntiagudas y cubiertos de resinas, como los abetos y los pinos.

Fauna: Está conformada por el lobo, la comadreja, alces, el zorro, el lince, el oso pardo, el gato montés, el conejo, comadrejas, la ardilla o el ciervo entre otros.

D. Sabanas: Cubren áreas extensas en América Del Sur, África, India, Sudeste Asiático y Australia Septentrional.

Presenta dos estaciones: seca y húmeda. Con un clima tropical con lluvias en verano, en época seca los suelos se agrietan y endurecen. La temperatura media anual oscila entre los 24 y 29°C y una precipitación anual de 1000 a 2000 mm (Smith T. y R. Smith. 2020).

Flora: Poca vegetación con hierbas (mayormente gramíneas) y árboles dispersos (Acacias).

Fauna: Presencia de aves, reptiles, pequeños mamíferos, como la liebre, el venado, el coyote, y en sabanas africanas león, cebra, etc.

E. Tundra: Se halla en lugares muy fríos, cercanos a los polos como la Antártida, las islas subantárticas y parte de la Patagonia, presenta temperaturas bajas (entre -15 °C y 5 °C) y la precipitación pluvial es escasa (aproximadamente 200 mm anuales).

Flora: Escasa con presencia de musgos, hierbas, y líquenes.

Fauna: Se puede encontrar: reno, lobo, zorro ártico, osos polares, pingüinos, etc.

F. Desierto: Presenta características como baja precipitación pluvial, menor a 250 mm al año, baja humedad y condiciones extremas, donde el clima varía notoriamente entre el día y la noche, pueden ser desiertos cálidos (Sahara) o fríos (Gobi).

Un mecanismo climático que forma desiertos en zonas cercanas a las costas es el ascenso de corrientes marinas frías cerca de los bordes continentales occidentales de África y América del Sur.

Flora: Escasa con una serie de adaptaciones definidas, de tipo xerófila con un predominio de cactus y suculentas, resistentes y con gran capacidad de almacenamiento del agua.

Fauna: Está representada por arañas, tarántulas, alacranes, insectos como escarabajos y termitas, mariposas, serpientes de cascabel, tortugas del desierto y camaleones. Aves: como halcones, aguiluchos, codorniz, correcaminos, cuervos y ñandú. Mamíferos como: coyotes, ratas canguro y murciélagos.

G. Estepa: Se ubican en lugares con escasas precipitaciones, al igual que los montes, es un territorio llano y extenso, clima seco semiárido, Estas regiones se encuentran lejos del mar, con clima árido continental, precipitaciones que no llegan a los 500 mm anuales.

Flora: Conformada por plantas herbáceas bajas y matorrales.

Fauna: Varía en las distintas regiones del planeta, están el coyote y el bisonte en América del norte, el avestruz en América del Sur, los caballos y antílopes en Europa y Asia.

7.3.1.2 Biomas acuáticos

Se diferencian en biomas de aguas continentales y oceánicas.

A. Biomas acuáticos de aguas continentales: Se encuentran en regiones continentales del planeta, Pueden contener bien agua dulce o por el contrario agua salada, caracterizándose en ambos casos por ser masas de aguas sin movimiento de aguas aparente (Aguas lénticas): Lagos, chotts o lagos salados de regiones semiáridas, lagunas, embalses pantanos y humedales o pueden ser aguas en movimiento (aguas lóticas): Ríos, arroyos, riachuelos.

B. Biomas acuáticos de aguas oceánicas: Se distribuyen dentro de los límites de los 5 grandes océanos del planeta (Atlántico, Pacífico, Índico, Antártico y Ártico). Desde las regiones costeras hasta las regiones de mar abierto e islas oceánicas, cada zona con gran riqueza faunística y florística.

Según la cercanía con la costa Smith T. y R. Smith. (2020) diferencian, horizontalmente, dos zonas:

a) **Zona nerítica:** Es la zona cercana a la costa en donde la profundidad es de 150 o 200 m. Corresponde a la plataforma continental, que puede ser estrecha o llegar hasta más de 100 km. Se llama litoral a la zona que se ve afectada por la oscilación de las mareas. Es una zona iluminada.

b) **Zona oceánica:** Es la zona de aguas profundas que permanecen quietas y en penumbra. Presenta dos subzonas: zona fótica y zona afótica.

- **Zona fótica:** Es la zona iluminada considerada hasta los 200 m de profundidad. Aquí se produce el máximo de producción primaria con algas hasta los 200 m, según la transparencia del agua. Del plancton producido, 75% es devorado por los consumidores primarios y el resto desciende hasta el fondo y se sedimenta. Incluye la zona pelágica.
- **Zona afótica:** A partir de los 500 m, es la zona de oscuridad absoluta donde se encuentran organismos con adaptaciones especiales a la oscuridad total y a la presión que el agua ejerce sobre ellos. Incluye la zona batial y abisal.

Fig. 7.27. Bioma acuático – marino

Fuente: https://ar.europeanwriterstour.com/images-2023/ubicaci%C3%B3n-del-bioma-acu%C3%A1tico

BIBLIOGRAFÍA

1. Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016). *Tratado de fisiología médica* (13ª ed.).
2. Bayona, F. (2012). Desarrollo embrionario del sistema nervioso central y órganos de los sentidos: revisión. *Universidad Odontología, 31*(66), 125-132.
3. Brüel, A. (2014). *Geneser histología* (4ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
4. Geneser, F. (1998). *Atlas color de histología* (1ª ed.).

5. Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2017). *Principios de anatomía y fisiología* (15ª ed.).
6. Jones, D. M., & Fernández-Juricic, A. (2007). The pineal eye and non-visual photoreceptors in vertebrates: Their role in regulating circadian rhythms and other physiological processes. *Journal of Neuroendocrinology, 19*(4), 301-313.
7. Saladin, K. S. (2021). *Anatomy & physiology: The unity of form and function* (8ª ed.).
8. Patton, K. T. (2022). *Anatomy & physiology* (10ª ed.).
9. Gartner, L. (2013). *Atlas de histología* (2ª ed.).
10. Marieb, E. (2008). *Anatomía y fisiología humana* (9ª ed.).
11. Mueller, T., & Roth, G. (2013). The role of the nervous system in fish behavior. *Fish Physiology and Biochemistry, 39*(1), 1-20.
12. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2018). *Libro rojo de la fauna silvestre amenazada del Perú*.
13. Smith, T., & Smith, R. (2020). *Ecología* (9ª ed.).
14. Ulloa, M., & Fuentes, P. (2011). The cerebellum of birds. *Brain Research Reviews, 65*(2), 243-263.
15. Wake, M. H. (2011). The evolution of the vertebrate nervous system. In *The Oxford Handbook of Neuroanatomy* (pp. 3-21). Oxford University Press.

TEMA 8: REPRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN AMBIENTAL

Durante esta semana, trataremos los aspectos vinculados a la Reproducción de plantas y animales, estableciendo puntos de comparación a partir de sus características morfológicas y/o anatómicas. También abordaremos el tema de Conservación Ambiental asociada a la realidad nacional actual.

8 REPRODUCCIÓN

8.1 LA REPRODUCCIÓN

Una función característica de todos los seres vivos es la reproducción, cuya finalidad es preservar la especie a través de las generaciones. Como seres vivos, las células también tienen como función fundamental reproducirse; pero antes de que ello suceda, deben asegurar que el material celular que se reparta a los descendientes ha de dividirse de forma equitativa entre las dos células hijas que se obtendrán. La división celular en células procariotas y eucariotas es diferente debido al tamaño y estructura de cada una, siendo más compleja en las células eucariotas (De Erice, 2012).

Hace varios siglos se pensaba que los seres vivos aparecían por generación espontánea, pero en el siglo XIX, Rudolf Virchow (1821-1902) observó que toda célula proviene de otra preexistente, postulado que después se integró a la teoría celular y que sugirió la existencia de un ancestro celular común.

Los ahuehuetes y los alerces son árboles que pueden vivir miles de años, pero un ser humano vive en promedio 80 años y muchos insectos menos de un mes. Las efímeras, especies cercanas a

las libélulas, viven solamente un día en su fase adulta. A pesar de estas diferencias, los individuos nacen, crecen y mueren en un tiempo relativamente corto. Sin embargo, la reproducción permite perpetuar las especies en la escala del tiempo geológico; por ejemplo, los tiburones y cocodrilos datan de hace más de 100 millones de años.

Es por esto que los seres vivos presentan estrategias de reproducción comunes, otras raras y caprichosas, e incluso realizan hazañas con este fin, como el gran recorrido que realizan las aves migratorias o las mariposas monarca para encontrar el clima más propicio para su etapa reproductora. Por otro lado, de diciembre a febrero se puede ver en las costas de Nayarit a las ballenas jorobadas, que llegan desde el norte para aparearse y dar a luz a los ballenatos.

El salmón realiza toda una cruzada, ya que nace en ríos de agua dulce y baja al mar para desarrollarse; luego nada río arriba, librando un sin fin de dificultades, para reproducirse. Así como la biodiversidad es enorme, también lo son las estrategias y estructuras para llevar a cabo la reproducción (Fernández y Hernández, 2018).

8.1.1 REPRODUCCIÓN EN ORGANISMOS PROCARIOTAS

La división en las células procariotas es muy sencilla, ya que tiene menos cantidad de ADN. Se ha observado que el cromosoma bacteriano tiene 60% de ADN, 30% de ARN y 10% de proteínas. La mayoría de las bacterias posee un solo cromosoma, que es circular y cerrado; aunque hay excepciones, se pueden encontrar cromosomas lineales o más de uno en una bacteria. El cromosoma se encuentra en un espacio específico del citoplasma llamado nucleoide.

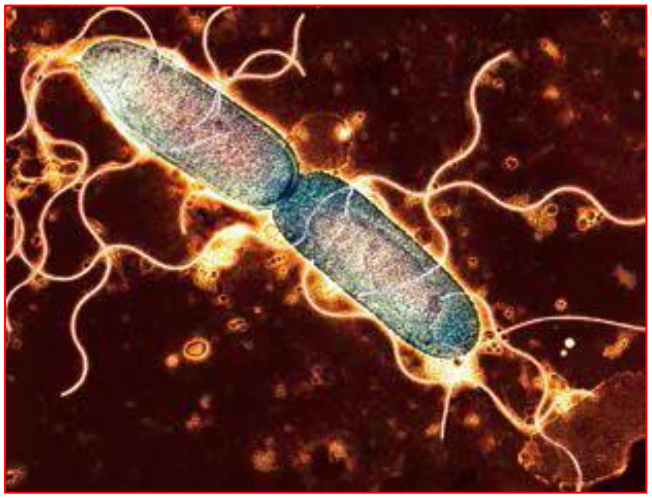
Las células procariotas se dividen generalmente mediante un proceso denominado fisión binaria, en donde el cromosoma bacteriano se replica. Cuando la célula se divide, cada cromosoma se va con cada una de las células hijas resultantes.

En este tipo de reproducción asexual las bacterias son similares, y cuando se presenta alguna infección bacteriana, el fármaco (antibiótico) que se aplica tiene excelentes resultados en términos generales, pues actúa al mismo tiempo y de la misma forma sobre toda la colonia que causa la enfermedad. En las bacterias que resultan distintas, esta diferencia se debe a errores durante la división, lo que ocasiona que éstas pudieran ser resistentes a dicho antibiótico.

Muchas bacterias poseen además del cromosoma, uno o varios plásmidos, que son estructuras genéticas que se encuentran en el citoplasma y tienen la capacidad de replicación autónoma e independiente del cromosoma. Algunos plásmidos pueden introducirse en la bacteria y replicarse junto y bajo el control del cromosoma, que les dicta cómo hacerlo.

Con fines experimentales se han introducido plásmidos de una bacteria en otra o plásmidos con secuencias previamente definidas, con lo que se ha determinado que su replicación y transcripción dependen de las proteínas que tenga la bacteria, a la que dan algunas características importantes, como resistencia a antibióticos, degradación de compuestos complejos, etc.

Fig. 8.1. Reproducción asexual de Escherichia coli.



Fuente: Fernández y Hernández, 2018

8.1.2 REPRODUCCIÓN EN ORGANISMOS EUCARIOTAS

Casi todas las células eucariontes presentan divisiones ordenadas a lo largo de su vida, según la función que lleven a cabo en los organismos. La división de las células eucariontes es más compleja que la de las procariotas debido a la mayor cantidad de ADN que tienen. Para estas células la división significa crecimiento y regeneración.

8.2 TIPOS DE REPRODUCCIÓN

La reproducción, a escala celular, requiere la replicación del material genético de los progenitores y de la división de la estructura celular y sus materiales, con la finalidad de que la célula hija reciba una dotación que le permita iniciar su desarrollo y crecimiento. En la escala de organismo y poblaciones, la reproducción involucra características adicionales y diversos mecanismos: el cortejo y apareamiento, la reproducción vegetativa y la esporulación, entre muchas otras. De manera general, podríamos organizar todas las estrategias reproductivas en dos grandes modalidades: la reproducción asexual y la reproducción sexual (Fernández y Hernández, 2018).

8.2.1 REPRODUCCIÓN ASEXUAL

8.2.1.1 Reproducción asexual en organismos unicelulares

a) Bipartición (fisión binaria)

En las bacterias y arqueas, la reproducción celular se realiza mediante la bipartición, también llamada fisión binaria. Este proceso genera dos células clonales, para lo cual deben duplicar su material genético y segregarlo para dividir la célula. Dado que los genomas procariontes son circulares, la replicación del ADN se realiza de manera bidireccional, es decir, en el origen de replicación (ORI) se producen dos horquillas de replicación que se desplazan en sentidos opuestos y que eventualmente se encuentran en el sitio terminador (TER). Esto permite replicar el material genético en la mitad del tiempo que tomaría una sola horquilla unidireccional.

A diferencia de las células eucariontes, en las bacterias el ADN se va segregando conforme ocurre su replicación: cada sitio ORI ya replicado se desplaza hacia cada uno de los polos celulares, respectivamente, y finaliza con la segregación de los sitios TER. En este proceso participa el citoesqueleto bacteriano, que se compone principalmente de dos proteínas distintas: MreB (parecida a la actina) y FtsZ (parecida a la tubulina).

El ADN bacteriano se organiza y segrega gracias a la proteína MreB. Una vez segregado el material genético hacia ambos polos, la proteína del septo o anillo contráctil, FtsZ, se contrae y produce la división del citoplasma, membrana y pared celulares. En conclusión, el proceso a grandes rasgos mantiene las pautas principales de la reproducción de los seres vivos, pero a través de un mecanismo ciertamente distinto a la mitosis eucarionte; ya que en este caso no ocurre la condensación de cromosomas, la

segregación es simultánea a la replicación, además las estructuras que la rigen son distintas y más simples que las del citoesqueleto eucarionte. El resultado de esto es que el proceso de división celular es mucho más rápido. Por ejemplo, para *E. coli* se tendrían 72 generaciones en un solo día, mientras que un ser humano coexiste a lo mucho con ocho generaciones en toda su vida.

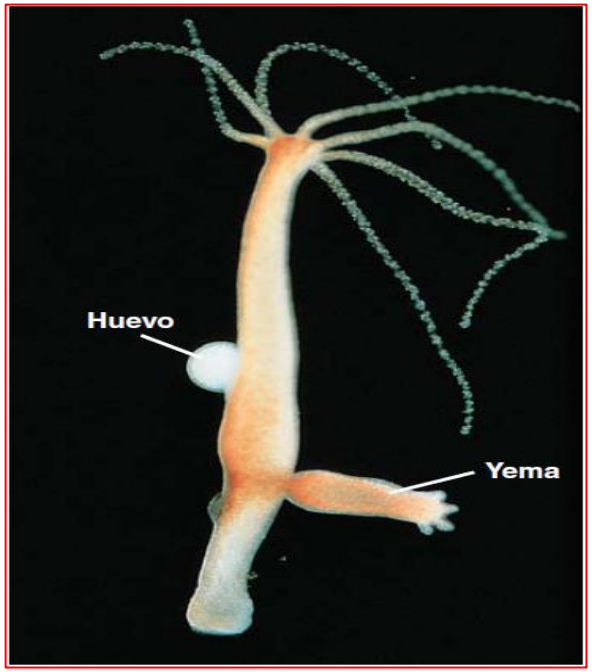
Este gran potencial reproductivo es una de las razones por las que las bacterias son los seres vivos más numerosos y diversos sobre la faz de la tierra. Pueden desarrollarse en prácticamente cualquier hábitat: en el suelo, superficies de otros organismos, plantas, cuerpos acuosos helados, hirvientes o salinos, etc.

b) Gemación

Algunos eucariontes unicelulares, como las levaduras y otros hongos, se reproducen a través de la gemación, que se caracteriza por la formación de un brote o yema que resulta de una división desigual de las estructuras celulares, posterior a la mitosis. De manera que el pequeño brote tiene un juego completo de la información genética, pero su volumen celular es mucho menor. Este brote se separa y crece para convertirse en un organismo idéntico en tamaño a su progenitor, aunque, en algunos casos, primero crece y, una vez que alcanza el volumen adecuado, se separa. En organismos multicelulares, como las esponjas, hidras o corales, los brotes no se separan por completo, sino que permanecen unidos formando una colonia.

En estos casos, a partir de la yema se generan todas las estructuras del organismo y posteriormente se puede desprender del progenitor, o bien, quedar unido. Esta forma de reproducción asexual la realizan cuando hay un exceso de alimento en el medio y ello les permite rápidamente incrementar sus poblaciones aprovechando el recurso ambiental.

Fig. 8.2. Reproducción asexual por gemación.



Fuente: Solomon et al. 2011

c) Esporulación

Los mohos son organismos unicelulares, heterótrofos, que absorben el alimento del suelo o de los tejidos de algunos organismos. Presentan reproducción asexual por esporulación. Existe otro tipo de mohos, que, en lugar de formar plasmodios, forman pseudópodos, que atraen células cercanas y forman una gran masa llamada pseudoplasmodio, ya que se compone de células individuales, sólo que agregadas para constituir a la larga un cuerpo fructífero que produce esporas para la reproducción (De Erice, 2012).

La esporulación es un mecanismo relativamente simple que permite una gran dispersión de los organismos y, por consiguiente, su rápida propagación. Ésta es una gran ventaja, que se puede evidenciar, por ejemplo, en los musgos y helechos, que fueron las primeras plantas que dominaron la superficie continental; tal vez tú mismo has podido apreciar lo rápido que se puede propagar un hongo sobre la comida que lleva almacenada algún tiempo.

8.2.1.2 Reproducción asexual en plantas

La reproducción vegetativa puede ocurrir a partir de los tallos, raíces u hojas. En este caso, las células de estas estructuras se dividen por mitosis y, posteriormente, ocurre un proceso de transdiferenciación, es decir, las células se reprograman y se convierten en células especializadas que darán lugar a los tejidos que permitirán desarrollar una nueva planta, con las mismas características y contenido genético que la progenitora. Las células que desarrollan las estructuras nuevas pertenecen a los

brotes o yemas, ya que tienen buena capacidad proliferativa. En el caso de los helechos, los esporangios están localizados en el envés de la hoja, dentro de unas estructuras color marrón llamadas soros. Cuando llega a su madurez, el esporangio se abre y libera las esporas, que se desplazan por corrientes de aire y eventualmente germinan en el suelo, surgiendo una nueva planta llamada prótalo.

8.2.1.3 Reproducción asexual en animales

En la reproducción asexual en los animales, un solo progenitor puede dividirse, gemarse o fragmentarse para dar origen a dos o más descendientes, sin depender de una pareja reproductiva.

a) Gemación

Las esponjas y cnidarios se cuentan entre los animales capaces de reproducirse por gemación. Una pequeña parte del cuerpo del progenitor se separa del resto y se desarrolla en un nuevo individuo. Algunas veces las yemas permanecen fijas y se vuelven miembros más o menos independientes de una colonia. Las esponjas y las hidras se reproducen asexualmente por gemación durante períodos cuando las condiciones ambientales son óptimas. Muchos hidrozoos forman colonias que consisten en cientos o miles de individuos. Una colonia comienza con un solo pólipo que se reproduce asexualmente por gemación.

b) Escisión (fragmentación)

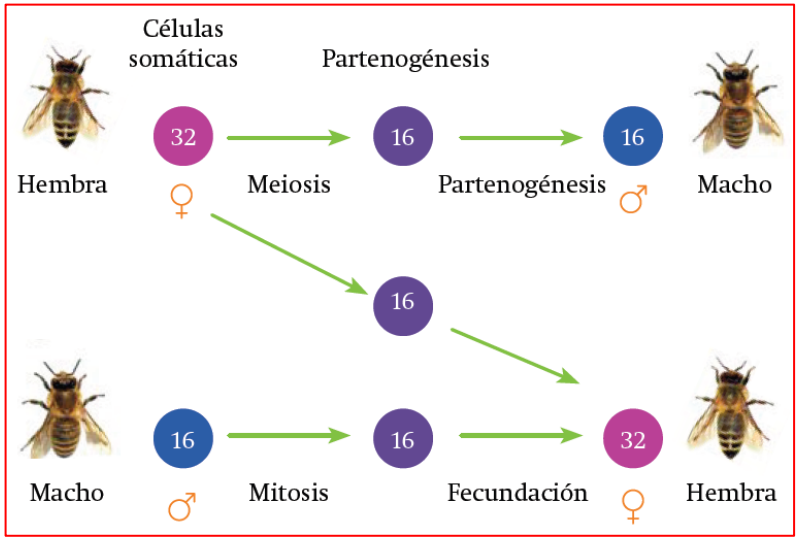
Los cultivadores de ostras aprendieron que cuando intentaban matar estrellas de mar al cortarlas a la mitad y arrojar los trozos al mar, el número de ellas que depredaban a las ostras se duplicaba. En algunos platelmintos, nemertinos y anélidos, esta capacidad para regenerarse forma parte de un método de reproducción conocido como fragmentación. El cuerpo del progenitor se rompe en varios trozos; cada parte regenera las partes faltantes y se desarrolla en un animal completo.

c) Partenogénesis

La partenogénesis (“desarrollo virgen”) es una forma de reproducción asexual en la que un huevo no fertilizado se desarrolla en un animal adulto. El adulto suele ser un haploide. La partenogénesis es común entre insectos (especialmente abejas y avispas) y crustáceos; también ocurre entre algunos otros grupos de vertebrados e invertebrados, incluidas algunas especies de nematodos, gasterópodos, peces, anfibios y reptiles.

Aunque pocas especies parecen reproducirse sólo por partenogénesis, en la mayoría de las especies hay una alternancia de episodios de partenogénesis con períodos de reproducción sexual. La partenogénesis puede ocurrir durante varias generaciones, seguida en algún punto por reproducción sexual en la que los machos se desarrollan, producen esperma y se aparean con las hembras para fertilizar sus huevos. En algunas especies, la partenogénesis es un medio de producción rápida de individuos cuando las condiciones son favorables (Solomon et al. 2011).

Fig. 8.3. Partenogénesis.



Fuente: Fernández y Hernández, 2018

8.2.2 REPRODUCCIÓN SEXUAL

8.2.2.1 Reproducción sexual en animales

La reproducción sexual en los animales implica la producción y fusión de dos tipos de gametos: espermatozoides y huevos. Por lo general, se requieren dos individuos diferentes. El progenitor macho contribuye con espermatozoides y un progenitor hembra contribuye con un huevo, u óvulo. El espermatozoide proporciona genes que codifican algunos de los rasgos del progenitor macho y el óvulo codifica genes de algunos de los rasgos del progenitor hembra. El huevo suele ser grande e inmóvil, con reservas de nutrientes que apoyan el desarrollo del embrión. El espermatozoide suele ser pequeño y móvil, adaptado para impulsarse al agitar su largo flagelo.

Cuando el espermatozoide y el huevo se unen, se produce un cigoto o huevo fertilizado. El cigoto se desarrolla hasta convertirse en un nuevo animal, semejante a ambos padres aunque no idéntico a ellos. La reproducción sexual suele implicar procesos estructurales, funcionales y de comportamiento extremadamente complicados. En los vertebrados, las hormonas

secretadas por el hipotálamo, la glándula pituitaria y las gónadas regulan estos procesos.

Muchos animales acuáticos practican la fertilización externa, donde los gametos se encuentran fuera del cuerpo. Los compañeros de apareamiento suelen liberar huevos y espermatozoides hacia el agua simultáneamente. Los gametos sólo viven un corto período y muchos se pierden en el agua, otros son devorados por depredadores. Sin embargo, se liberan tantos gametos que cantidades suficientes de espermatozoides y células huevo se encuentran para perpetuar la especie.

En la fertilización interna los hechos son menos aleatorios. El macho suele entregar esperma directamente en el cuerpo de la hembra. Los tejidos húmedos de ella proporcionan el medio acuoso requerido para el movimiento del esperma y los gametos se funden dentro del cuerpo. La mayoría de los animales terrestres, tiburones y reptiles acuáticos, aves y mamíferos practican la fertilización interna.

El hermafroditismo es una forma de reproducción sexual en la que un solo individuo produce óvulos y esperma. Algunos hermafroditas, como la tenia, son capaces de autofertilizarse. Más comúnmente, dos animales se aparean y fertilizan mutuamente los huevos del otro. La lombriz de tierra también es hermafrodita. Dos animales copulan y ocurre la fertilización cruzada. Cada lombriz de tierra insemina a la otra. En algunas especies hermafroditas, la autofertilización es evitada por el desarrollo de testículos y ovarios en momentos diferentes.

8.2.2.2 Reproducción sexual en plantas

Hace aproximadamente 470 millones de años las plantas conquistaron el medio terrestre. La adaptación de las plantas a la superficie continental produjo cambios irreversibles y globales en el clima y en los ciclos biogeoquímicos, permitiendo a su vez la evolución de los eucariontes terrestres y el que ocuparan todos los ambientes continentales. Es decir, fue un gran detonante de la biodiversidad.

8.3 LA REPRODUCCIÓN EN PLANTAS

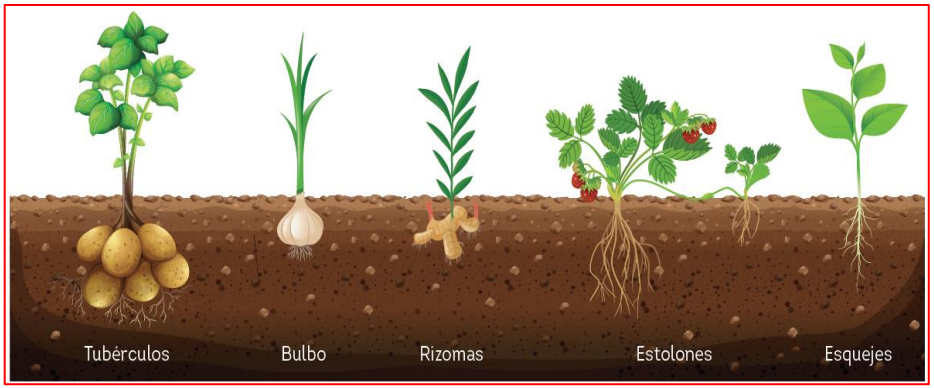
8.3.1 REPRODUCCIÓN ASEXUAL EN PLANTAS

La reproducción vegetativa puede ocurrir a partir de distintas estructuras maduras. Por ejemplo, la caña de azúcar o el plátano se reproducen a partir de estacas (también llamados **esquejes**), que son fragmentos del tallo que contienen yemas. Muchos árboles, como el sauce, abeto y olivo, también se pueden

propagar así. Otras plantas pueden reproducirse vegetativamente a partir de **tubérculos**, que son tallos subterráneos modificados donde las plantas suelen almacenar nutrientes de reserva, como el almidón. Las papas, camotes, dalias y begonias son plantas que se suelen propagar mediante tubérculos. Los **bulbos** son también órganos subterráneos que las plantas utilizan para almacenamiento de nutrientes, de la misma forma que los tubérculos, se pueden utilizar para propagar especies como la cebolla, el ajo, el tulipán y el narciso. Otra forma de reproducción vegetativa es a través de los **estolones**, que son brotes laterales que nacen de la base del tallo de una planta adulta, se extienden horizontalmente por cierta distancia, generando raíces adventicias, para desarrollar un nuevo individuo. Éste es el caso de plantas como el trébol, o las fresas. De manera similar, los **rizomas** son tallos que crecen horizontalmente, pero de manera subterránea, presentan yemas que desarrollarán raíces y nuevos brotes a lo largo; éste es el caso del jengibre y de muchas malezas.

De manera general, podríamos decir que es relativamente difícil que muchas de estas plantas crezcan a partir de semillas, por lo largo, delicado y exigente del proceso germinativo, así que la reproducción vegetativa es más sencilla y rápida (Fernández y Hernández, 2018).

Fig. 8.4. Reproducción vegetativa.



Fuente: Fernández y Hernández, 2018

8.3.2 REPRODUCCIÓN SEXUAL EN PLANTAS

Las plantas terrestres **briofitas**, descienden de un grupo de algas verdes multicelulares de agua dulce conocidas como carofitas. Algunas de estas algas se pueden reproducir asexualmente a partir de zoosporas y también de forma sexual mediante oogamia. A sus ovocitos los envuelve una estructura filamentosa y, una vez fecundados, crecen dentro de ésta. Posteriormente producen esporas haploides por meiosis. Esta tendencia a retener el cigoto no se observa en ninguna otra alga verde, en

cambio es muy común en las briofitas y plantas vasculares, que constituyen los dos grandes grupos de plantas terrestres. En éstas, el cigoto se mantiene en una estructura multicelular llamada arquegonio y ahí es donde el embrión se desarrolla protegido. Las briofitas incluyen musgos, hepáticas y antoceros, plantas sencillas con tejidos diferenciados que habitan ambientes muy húmedos.

Presentan una **alternancia de generaciones** muy evidente: el **gametofito** (haploide) está muy desarrollado y presenta vida vegetativa independiente, mientras que el **esporofito** (diploide) es muy reducido, se desarrolla siempre unido al gametofito y su función se reduce a la formación de esporas a través de meiosis. Veamos, como ejemplo, el ciclo de vida del musgo; en este caso, el gametofito es la porción aterciopelada verde.

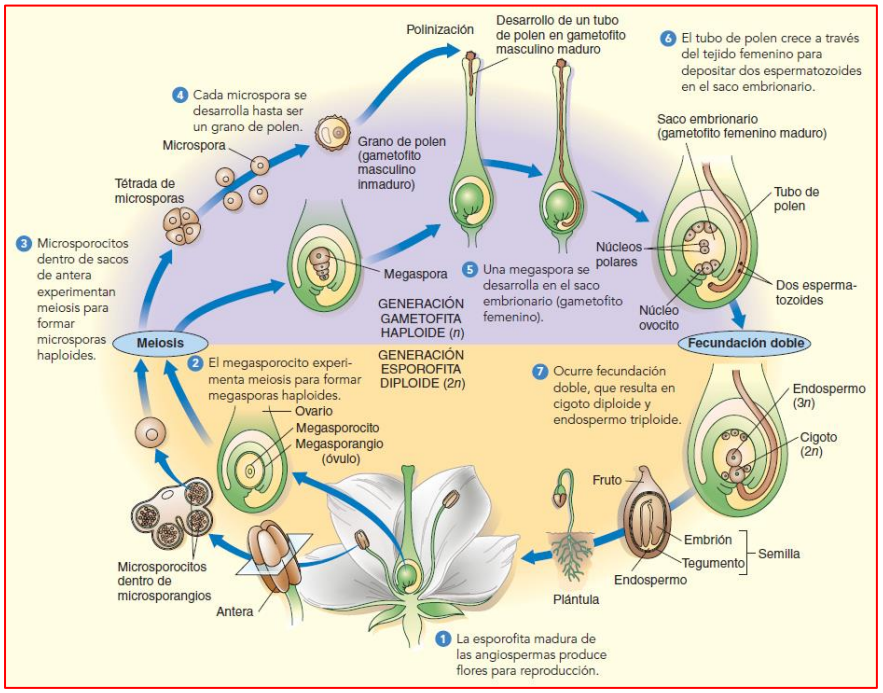
Está formado por muchas pequeñas hojas denominadas filidios (las que, al carecer de un sistema vascular, no son estrictamente hojas). En sus extremos tiene estructuras reproductoras masculinas (anteridios), femeninas (arquegonios) o ambas, las cuales producen los gametos por mitosis (ya que el gametofito es haploide). En presencia de una elevada humedad, los espermatozoides se liberan y nadan hasta el arquegonio, donde uno de ellos fertiliza al ovocito y forma un cigoto diploide, el cual dará lugar a la fase sexual llamada esporofito (diploide), que emerge formando un tallo llamado seta, y termina en una estructura llamada esporangio, donde se producen las esporas por meiosis. Éstas son dispersadas por corrientes de aire o agua y germinan para dar lugar a un nuevo gametofito haploide.

En el caso de las plantas vasculares (o traqueofitas) el proceso es similar: la planta en fase diploide produce gametos haploides o esporas (de ahí el nombre: esporofito). Las esporas germinan y dan lugar al gametofito haploide que, a través de mitosis, produce gametos. Estos, al fecundarse, dan lugar a un nuevo esporofito, y así el ciclo de vida se repite.

Existen dos grandes grupos de plantas vasculares conocidas por sus características reproductoras: las criptógamas (plantas sin semilla), que incluyen helechos, equisetos y psilotáceas, y las fanerógamas (plantas con semilla), que pueden o no tener flor. A diferencia de las briofitas y criptógamas, los gametofitos de las fanerógamas son más discretos, ya que el femenino se encuentra en el arquegonio u ovario (que se convertirá en la semilla), y el masculino está dentro del grano de polen.

La aparición de la semilla como resultado de la reproducción sexual trajo ventajas evolutivas; por ejemplo, la latencia que les permite sobrevivir períodos prolongados de frío y sequías, la reserva de nutrientes para el desarrollo del embrión, su sabor y olor promueven que los animales las ingieran y dispersen y que los seres humanos, roedores y algunos insectos, como el escarabajo pelotero, las manipulen y siembren. Las semillas son parte fundamental de la dieta de nuestra especie desde tiempos prehistóricos (Fernández y Hernández, 2018).

Fig. 8.5. Ciclo de vida de las plantas con flores.


Polinización
Desarrollo de un tubo de polen en gametofito masculino maduro
6 El tubo de polen crece a través del tejido femenino para depositar dos espermatozoides en el saco embrionario.
4 Cada microspora se desarrolla hasta ser un grano de polen.
Microspora
Grano de polen (gametofito masculino inmaduro)
Saco embrionario (gametofito femenino maduro)
Tétrada de microsporas
Tubo de polen
3 Microsporocitos dentro de sacos de antera experimentan meiosis para formar microsporas haploides.
Megaspora
5 Una megaspora se desarrolla en el saco embrionario (gametofito femenino).
Núcleos polares
Dos esperma-tozoides
GENERACIÓN GAMETOFITA HAPLOIDE (n)
Núcleo ovocito
Meiosis
Fecundación doble
GENERACIÓN ESPOROFITA DIPLOIDE (2n)
2 El megasporocito experi-menta meiosis para formar megasporas haploides.
7 Ocurre fecundación doble, que resulta en cigoto diploide y endospermo triploide.
Endospermo (3n)
Ovario
Megasporocito
Megasporangio (óvulo)
Cigoto (2n)
Fruto
Embrión
Semilla
Tegumento
Endospermo
Plántula
Microsporocitos dentro de microsporangios
Antera
1 La esporofita madura de las angiospermas produce flores para reproducción.

Fuente: Solomon et al. 2011

8.3.2.1 Órganos sexuales de Gimnospermas

Las plantas llamadas fanerógamas (o espermatofitas) son aquellas que producen semilla a partir de la fecundación de los gametos vegetales. Sus estructuras reproductoras pueden ser muy diferentes, de manera que se pueden reconocer dos grupos principales, que se cree que provienen de un ancestro común:

las gimnospermas (sin flor) y las angiospermas (con flor). Las plantas con semilla aparecieron hace aproximadamente 250 millones de años y, probablemente, su ancestro común es un arbusto llamado *Amborella*.

Las gimnospermas son plantas vasculares que producen semillas, pero carecen de flores con estructura convencional. Poseen estructuras llamadas estróbilos, que se disponen en forma de conos o piñas y dan la apariencia de un fruto, pero no lo son. Los estróbilos son un conjunto de hojas modificadas con fines reproductivos que se agrupan en forma de espiral alrededor de un eje.

Existen estróbilos hembra, cuyas hojas reproductivas o escamas ovulíferas contienen células haploides que se dividen por mitosis para dar lugar al arquegonio, que contiene al ovocito y está rodeado por un tegumento y una nucela multicelular (llamada megasporangio). Dado que no se encuentra dentro de un ovario, las semillas resultantes de la fecundación quedarán desnudas. Por ello, se denominan gimnospermas (gimnos, “desnudo”, y sperma, “semilla”). Por su parte, los estróbilos masculinos son generalmente más pequeños y en sus escamas se localizan en los sacos polínicos o microsporangios, que producen millones de células de polen haploides, que se dispersan a grandes distancias gracias a las corrientes de aire. La polinización sucede cuando el polen llega directamente a los estróbilos femeninos. Entonces las escamas ovulíferas se cierran para proteger los gametos y, a partir de ahí, inicia el desarrollo de los gametofitos: el grano de polen germina y forma el tubo polínico, que va creciendo lentamente a través de la nucela, mientras que el gametofito femenino desarrolla sus estructuras características.

La fecundación ocurre aproximadamente un año después, cuando el tubo polínico permite la unión entre los gametos masculinos y los ovocitos, de los cuales sólo uno se desarrollará y formará semillas, para lo cual se tardará cerca de otro año. Transcurrido ese tiempo, las escamas ovulíferas se abren y las semillas se liberan para ser transportadas por el viento gracias a un ala formada por una porción adelgazada de la escama ovulífera.

8.3.2.2 Órganos sexuales de Angiospermas

Las angiospermas se caracterizan por tener flores, que son las estructuras reproductoras especializadas donde se lleva a cabo la fecundación y desarrollo de la semilla. Este grupo de plantas apareció hace aproximadamente 140 millones de años e incluye

más de 250 000 especies que habitan todo tipo de ecosistemas: desierto, tundra, bosques, etc. La gran diversidad y éxito evolutivo de las angiospermas se debe en gran parte a la flor como estructura reproductora, ya que éstas se reproducen mucho más rápido que las gimnospermas y, en algunos casos, el óvulo puede desarrollar la semilla en cuestión de semanas. Es por esto que constituyen la mayor parte de la flora terrestre, siendo un claro ejemplo de la biodiversidad que resulta de la reproducción sexual.

En estas plantas, la semilla queda envuelta en un ovario cerrado (pistilo), que dará origen a un fruto. La flor típica de las angiospermas se compone por cuatro tipos de hojas que están modificadas, y sus estructuras le permiten producir y proteger los gametos. Estas hojas modificadas son, desde afuera hacia adentro: **sépalos, pétalos, estambres y carpelos**. La flor se puede definir como una rama con crecimiento determinado que produce hojas especializadas para la reproducción.

Los **sépalos** conforman una estructura protectora llamada **cáliz**, que generalmente es verde y pueden desprenderse cuando abre la flor, mantenerse hasta la fecundación o, incluso, acompañar al fruto. En algunos casos el cáliz puede contener néctar, que es un líquido con azúcares, útil para atraer otros organismos hacia la flor por sus propiedades nutritivas. A su vez, los pétalos también son estructuras protectoras y se unen formando la **corola**, que es la estructura más vistosa de la flor. Tanto el cáliz como la corola están fijos a una base denominada receptáculo, y se pueden componer por hojas que están libres o unidas entre sí; en el caso de los **pétalos**, existe una enorme variedad de formas, tamaños y colores. Estos últimos resultan de la presencia de pigmentos como carotenoides (rojos, anaranjados y amarillos) y flavonoides (azules, violeta, rojos), los cuales se pueden combinar en diversos grados y generar una maravillosa diversidad de colores florales.

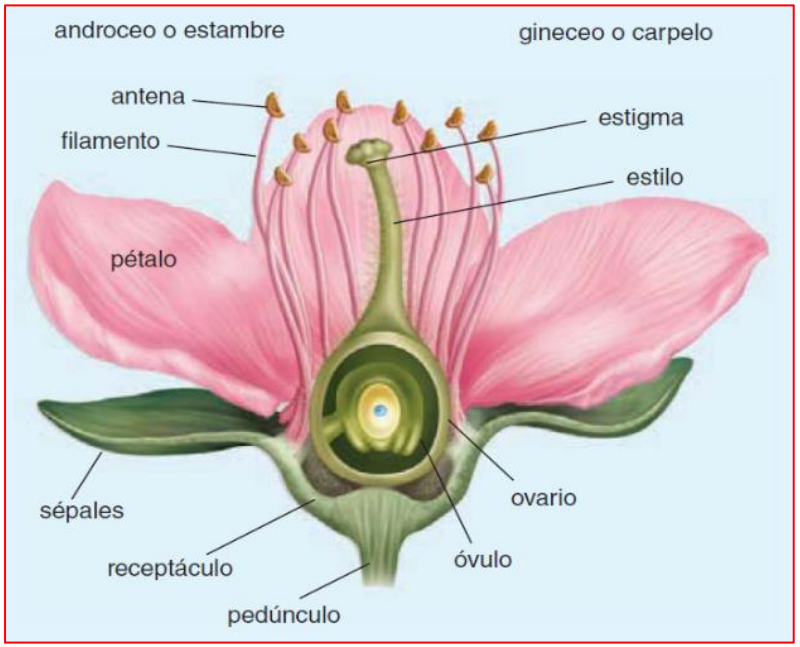
Los **estambres** son hojas modificadas que se componen por un pie fijo al receptáculo y una especie de cápsula llamada antera en la parte superior, que contiene los sacos polínicos. El polen constituye el gametofito masculino (haploide), y una vez que madura, se abren las anteras y se libera al ambiente. El número de estambres que pueden tener las flores es variable, pudiendo igualar o no al número de pétalos; en su conjunto, los estambres constituyen el androceo. El **gineceo o pistilo** es la porción reproductora femenina de la flor. Se compone por un conjunto de

carpelos que forman una cavidad llamada ovario, cuya función es proteger a los óvulos. La parte superior de los carpelos se adelgaza, formando el estilo, que es una columna alargada que puede terminar en una porción llamada **estigma**, que se encarga de recibir los granos de polen.

Al proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta los estigmas se le llama polinización. Una vez ahí, se desarrolla el gametofito masculino por mitosis, produciendo los tubos polínicos que crecen a lo largo del estilo, desde el estigma hacia el ovario y produciendo también los espermatozoides, que se desplazan por el tubo polínico para fecundar los óvulos. El cigoto diploide entonces se desarrolla, formando un embrión dentro de la semilla, la cual provee nutrientes para el embrión. El **ovario** que rodea la semilla puede convertirse en un fruto, favoreciendo que ésta sea llevada a otra parte por los animales frugívoros.

En muchas especies, las flores presentan solamente androceo o gineceo, siendo entonces flores masculinas o femeninas; las flores que presentan ambas estructuras se denominan hermafroditas. También hay especies que presentan en un mismo individuo las flores masculinas y femeninas por separado; a estas plantas se les llama **monoicas**, mientras que a las plantas unisexuales se les denomina **dioicas**. Las formas de las flores son muy variadas en cuanto al número de sépalos, pétalos y estambres, y según el tipo de gineceo y de ovario (Fernández y Hernández, 2018).

Fig. 8.6. Organografía de una flor.



Fuente: De Erice, 2012

8.3.2.3 Polinización

La reproducción sexual en las plantas con flor se puede reconocer durante el proceso de polinización y la consecuente

fecundación. Evolutivamente, la inversión de la fase dominante de gametofito a esporofito (o, dicho de otra forma, la predominancia de la fase con reproducción sexual) tuvo un gran éxito evolutivo, favoreció la dispersión, diversificación, así como la adaptación de estas plantas a distintos ambientes terrestres.

El transporte del polen puede ocurrir gracias a factores físicos como el viento; las plantas que se polinizan gracias a este mecanismo se llaman anemófilas. También existe la polinización por corrientes de agua (plantas hidrófilas), y finalmente aquella que depende de algún animal (plantas zoófilas), como los murciélagos, insectos, aves, etc. Las plantas con flor han forjado una estrecha relación ecológica y evolutiva con los animales que favorecen la polinización, llamados polinizadores.

Las plantas zoófilas han ido evolucionando y perfeccionando una serie de estrategias que permiten que las flores resulten atractivas para los animales polinizadores, como poseer productos de interés (néctar y polen), desplegar medios de atracción como los aromas y colores, y tener polen adherente. La propia estructura de la flor aumenta las probabilidades de que ocurra la polinización por contacto físico. Asimismo, las especies polinizadoras han coevolucionado, desarrollando algunas características antófilas. Por ejemplo, la aparición de aparatos bucales especializados para obtener el néctar, como la probóscide de las mariposas, el pico delgadísimo y alargado de los colibríes o la lengua de los murciélagos.

Los polinizadores visitan flores de varias especies y, al mismo tiempo, las plantas reciben muchas especies de polinizadores. Estos comportamientos forman una red de interacciones entre vegetales y animales, que afecta a otro tipo de redes ecológicas, como las cadenas tróficas. Por ejemplo, el éxito de una relación planta-polinizador incide directamente en la reproducción de la planta (y generalmente del polinizador). Asimismo, la abundancia de la planta puede relacionarse con la de algún herbívoro. Esto quiere decir que las distintas redes de un ecosistema forman capas interconectadas (Fernández y Hernández, 2018).

8.3.2.4 Fecundación

Las plantas con flores experimentan alternancia de generaciones en las que la generación esporofita es más grande y nutricionalmente independiente. La generación gametofita en las plantas con flores es microscópica y nutricionalmente dependiente de la esporofita.

Las plantas con flores, como las gimnospermas y algunas otras plantas vasculares, son heterosporas y producen dos tipos de esporas: microsporas y megasporas. La reproducción sexual ocurre en la flor. Cada óvulo joven dentro de un ovario contiene un megasporocito (célula madre de megaspora) que experimenta meiosis para producir cuatro megasporas haploides. Tres de estas comúnmente se desintegran, y una se divide en forma mitótica y crece hasta convertirse en un gametofito femenino maduro, llamado saco embrionario.

Los sacos embrionarios en la gran mayoría de las angiospermas contienen siete células con ocho núcleos haploides. Seis de estas células, incluido el ovocito, contienen un solo núcleo cada una, y una célula central tiene dos núcleos, llamados núcleos polares. El ovocito y la pared central con dos núcleos polares están involucrados en la fecundación; las otras cinco células en el saco embrionario no tienen papel directo en el proceso de fecundación y se desintegran. Sin embargo, conforme se desintegran las sinérgidas (dos células que flanquean al ovocito), liberan químicos que pueden afectar la dirección de crecimiento del tubo de polen.

Cada saco de polen, o microsporangio, de la antera contiene numerosos microsporocitos (células madre de microspora), cada una de las cuales experimenta meiosis para formar cuatro microsporas haploides. Toda microspora se desarrolla en un gametofito masculino maduro, también llamado grano de polen. Los granos de polen son pequeños; cada uno consiste en dos células, la célula tubo y la célula generativa.

Las anteras se abren y comienzan a lanzar polen. Varios agentes (incluido viento, agua, insectos y otros animales polinizadores) transfieren granos de polen al estigma. Si es compatible con el estigma, el grano de polen germina, y un tubo de polen crece en el estilo y hacia el ovario. El grano de polen germinado, con su tubo de polen, es el gametofito masculino maduro. A continuación, la célula generativa se divide para formar dos espermatozoides no flagelados. Los espermatozoides se mueven dentro del tubo de polen y se descargan en el saco embrionario. Ambos espermatozoides están involucrados en la fecundación.

Cuando los dos espermatozoides entran al saco embrionario, ambos participan en la fecundación. Un espermatozoide se fusiona con el ovocito y forma un cigoto que crece por mitosis y

se transforma hasta ser un embrión multicelular en la semilla. El segundo espermatozoide se fusiona con los dos núcleos polares haploides de la célula central para formar una célula triploide (3n) que se divide por mitosis y se desarrolla para ser endospermo, un tejido nutritivo rico en lípidos, proteínas y carbohidratos que alimenta al embrión durante su crecimiento.

Este proceso de fecundación, que involucra dos fusiones nucleares separadas, se llama fecundación doble y es, con dos excepciones, único para las plantas con flores. En las gimnospermas *Ephedra nevadensis* y *Gnetum gnemon* se ha reportado fecundación doble. Este proceso difiere de la fecundación doble en las plantas con flores en la que se produce un cigoto adicional, en lugar de endospermo. El segundo cigoto se desintegra más tarde. (Solomon et al. 2011).

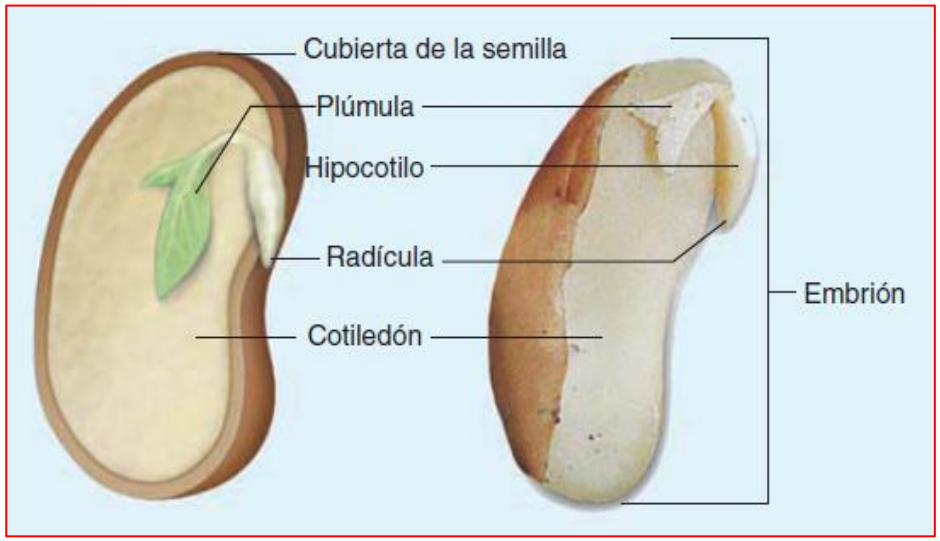
8.3.2.5 Desarrollo de semillas y frutos

Como resultado de la fecundación doble, y de los posteriores crecimiento y desarrollo, cada semilla contiene un embrión de planta joven y tejido nutritivo (el endospermo), que están rodeados por un tegumento protector. En las monocotiledóneas el endospermo persiste y es la principal fuente de alimento en la semilla madura. En la mayoría de las eudicotiledóneas el endospermo nutre al embrión en desarrollo, que posteriormente almacena alimento en sus cotiledones.

Conforme una semilla se desarrolla a partir de un óvulo después de la fecundación, la pared del ovario que lo rodea se alarga de manera impresionante y se convierte en un fruto. En algunos casos, otros tejidos asociados con el ovario también se agrandan para formar el fruto.

Los frutos tienen dos propósitos: proteger las semillas en desarrollo de la deshidratación conforme crecen y maduran, y ayudar en la dispersión de las semillas. Por ejemplo, los frutos de los dientes de león tienen penachos que las corrientes de aire levantan y transportan. Con frecuencia, los animales ayudan a dispersar las semillas que se encuentran en los frutos comestibles. Una vez que una semilla aterriza en un lugar adecuado, puede germinar y desarrollarse hasta convertirse en una esporofita madura que produce flores, y el ciclo de vida continúa según lo descrito.

Fig. 8.7. Semilla dicotiledónea.



Fuente: De Erice, 2012

8.4 SISTEMA REPRODUCTOR HUMANO MASCULINO

El sistema reproductor masculino es un conjunto de órganos encargados de producir los gametos masculinos (espermatozoides), sintetizar las hormonas sexuales y realizar la copulación. Este sistema está constituido por: los testículos, el pene, las vías espermáticas y las glándulas anexas (vesículas seminales, próstata y glándulas bulbouretrales o glándulas de Cowper).

8.4.1 TESTÍCULOS (GÓNADAS MASCULINAS)

Los testículos son órganos con un peso entre 20 a 25 gramos y tienen un tamaño de 4 cm de largo, 3 cm de ancho y 2,5 cm de espesor. En esta estructura se forman los espermatozoides (específicamente en los túbulos seminíferos) y, por otra parte, las células intersticiales o de Leydig, producen la hormona testosterona. Los testículos están localizados en el escroto o bolsa escrotal.

En la etapa fetal, se ubican en las paredes posteriores del abdomen; empiezan a descender hacia la semana 28 del desarrollo y llegan a localizarse en el escroto en la semana 32. Esta ubicación les permite estar a una temperatura menor que la corporal (2 °C menos), la cual es óptima para la formación y supervivencia de espermatozoides. Se denomina criptorquidia, cuando los testículos no logran descender al escroto desde la

cavidad abdominal, esta puede ser unilateral o bilateral; siendo causa de infertilidad masculina.

El escroto es una bolsa cutánea, constituida por una piel laxa y fascia superficial, internamente separada por una línea media: el rafe. El músculo cremáster eleva los testículos durante la erección y durante la exposición al frío. El dartos, es un músculo fino adherido al escroto que frunce la piel.

8.4.2 ANATOMÍA DEL SISTEMA REPRODUCTOR MASCULINO

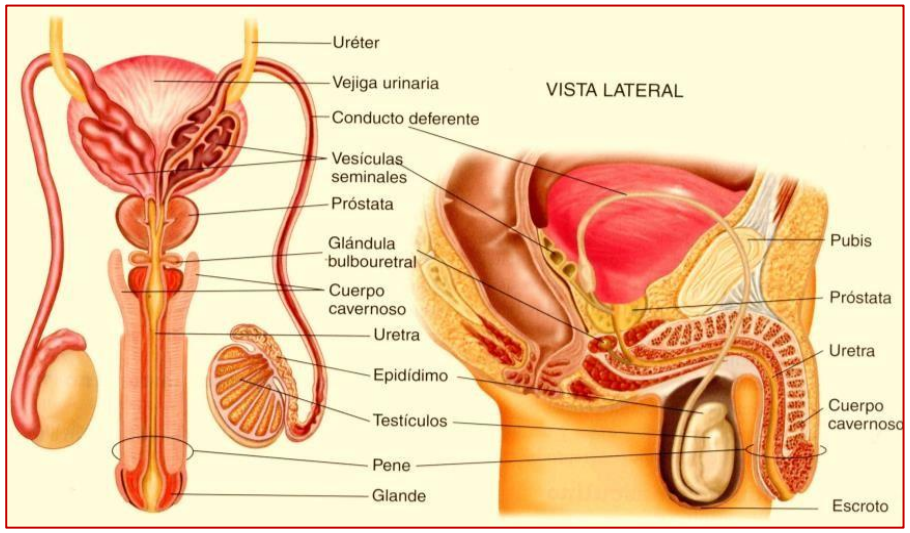
Anatómicamente los testículos presentan dos componentes fundamentales: estroma y parénquima.

a) **Estroma:** Es la cubierta del testículo; está constituido por tejido conectivo denso denominado “túnica albugínea”, esta se extiende en tabiques hacia el interior (tabiques interlobulillares), dividiendo al testículo en compartimientos piramidales denominados “lobulillos testiculares” (entre 200 a 300 lobulillos).

b) **Parénquima:** Está conformado por los lobulillos testiculares. Cada lobulillo testicular contiene en su interior entre uno y cuatro túbulos seminíferos cuyas medidas son: 50 a 250µm de diámetro y 30 a 70 cm de largo, en cuyo interior se producen los espermatozoides (mediante un proceso denominado: espermatogénesis). Los lobulillos testiculares presentan las siguientes células:

- **Células germinales**. Se ubican en la pared interna del túbulo seminífero. Estas células darán origen a los espermatozoides, su maduración avanza desde la membrana basal hacia la luz del túbulo; los espermatozoides maduros estarán formados por cabeza, cola y cuello (ver figura 8.9).

Fig. 8.8. Sistema Reproductor Masculino

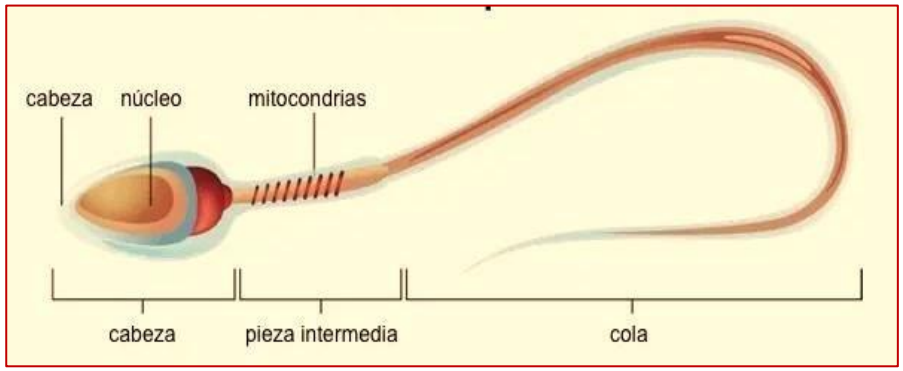


Nota: la imagen fue tomada y adaptada de www.blogdebiologia.com/aparato-reproductor-masculino.html

- **Células de Sertoli**. También se ubican en la pared interna del túbulo seminífero. Tienen por función nutrir y proteger a las células germinales para que se puedan diferenciar en espermatozoides. Las uniones intercelulares entre las células de Sertoli forman la barrera hematotesticular. Estas células secretan la hormona inhibina que tiene por función inhibir la secreción de la hormona FSH.

- **Células de Leydig o Células intersticiales**. Se encuentran en el tejido intersticial adyacente a los túbulos seminíferos. Se encargan de la síntesis de la hormona testosterona, la cual interviene en la diferenciación testicular, en el desarrollo cerebral y en el desarrollo de los caracteres sexuales primarios y secundarios del individuo. Esta hormona modula la expresión de algunos comportamientos y rasgos de la personalidad, principalmente los relacionados con la reproducción (Borráz-León et al., 2015).

Fig. 8.9: Partes del espermatozoide



Nota: la imagen fue tomada y adaptada de *https://www.expertoanimal.com/sistema-digestivo-de-las-aves-26432.html*

8.4.2.1 Vías espermáticas

Las vías espermáticas son estructuras tubulares cuya función es transportar las células sexuales o espermatozoides desde los túbulos seminíferos del testículo hacia el exterior. Los componentes principales son (ver figura 8.10):

a) Túbulos rectos: nacen en los vértices de los lobulillos testiculares, son cortos y rectilíneos y comunican los túbulos seminíferos con la "rete testis".

b) Rete testis: también conocida como red testicular, se forma por la desembocadura de los túbulos rectos. Sus conductos son irregulares y están anastomosados (conectados) entre sí.

c) Conductos eferentes: son conductos que desembocan en la cabeza del epidídimo, parten de la red testicular y conducen a los espermatozoides.

d) Epidídimo: es una estructura alargada con forma de "C", situado contra el margen posterior del testículo; está cubierto por epitelio pseudoestratificado cilíndrico con estereocilios, en este conducto los espermatozoides maduran y adquieren movilidad, así como la capacidad para fertilizar al óvulo. Es el depósito más importante de espermatozoides, donde se almacenan por lo menos durante un mes, después son expulsados o son reabsorbidos. Se divide en tres zonas:

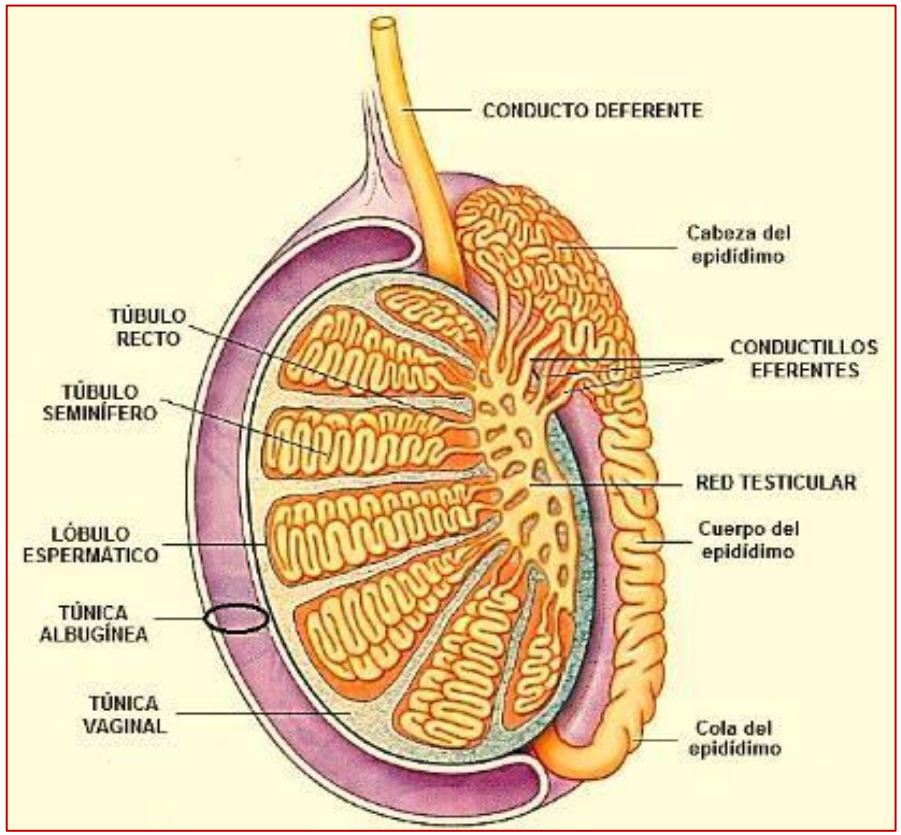
- Cabeza del epidídimo: Sección superior donde desembocan los conductos eferentes.
- Cuerpo del epidídimo: Entre la cabeza y la cola.
- Cola del epidídimo: Sección inferior que se conecta con el conducto deferente.

e) Conducto deferente: Es un tubo que conduce los espermatozoides desde cada epidídimo hasta la vesícula seminal donde se une al conducto vesical y constituye el conducto eyaculador. A nivel del conducto deferente se realiza la vasectomía (procedimiento quirúrgico de esterilización masculina).

f) Conducto eyaculador: Conducto que mide 2.5 cm y desemboca en la uretra prostática.

g) Uretra: Es un conducto que parte de la vejiga urinaria, es una estructura que hace parte tanto del sistema urinario como del sistema reproductor masculino. Este conducto atraviesa la próstata y recorre el interior del pene. En ella desembocan los conductos eyaculadores. Conduce el semen y orina al exterior.

Fig. 8.10: Vías espermáticas en la estructura interna del testículo



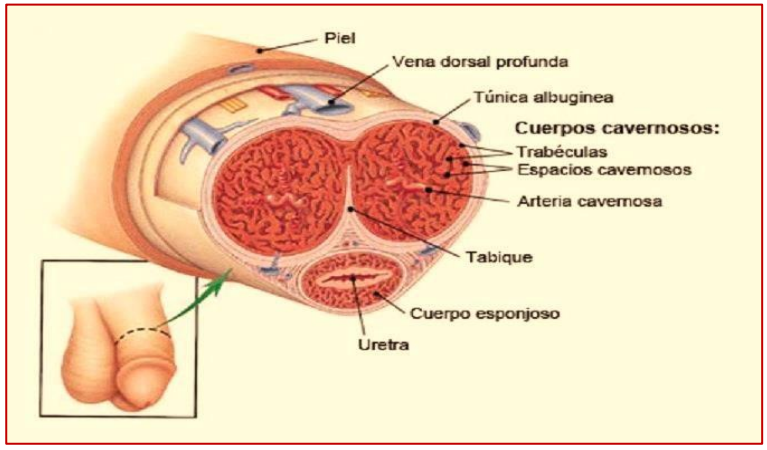
Nota: la imagen fue tomada y adaptada de *hnncbiol.blogspot.pe/2008/01/sistema-reproductor-masculino.html*

8.4.2.2 Pene

El pene es un órgano que tiene una función excretora (eliminación de la orina) y una función reproductiva (expulsión de

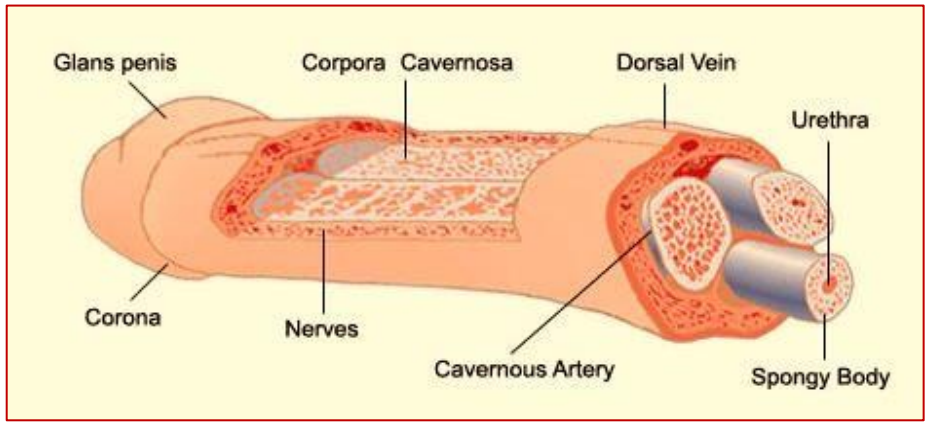
espermatozoides). Tiene forma cilíndrica y está formado por una raíz, un cuerpo y una cabeza o glande. En el extremo distal presenta el meato urinario, está cubierto parcialmente en esta porción final por un pliegue de piel llamado prepucio. El cuerpo del pene está compuesto por tres columnas cilíndricas de tejido eréctil (ver figuras 8.11 y 8.12), se puede observar mediante el corte longitudinal, los cuerpos cavernosos, uno derecho y otro izquierdo que en estado de erección están llenos de sangre; el cuerpo esponjoso, contiene en toda su longitud a la uretra y termina en una dilatación llamada el glande o cabeza del pene.

Fig. 8.11: Anatomía del pene



Nota: la imagen fue tomado dehttp://naukas.com/2014/11/04/extranos-penes-animales/

Fig. 8.12: Anatomía del pene



Nota: la imagen fue tomado de *https://www.thundersplace.org/salud-sexual-del- hombre/erecciones-nocturnas-y-matinales-durante-el-sueno-en- fase-rem.html*

8.4.2.3 Glándulas anexas

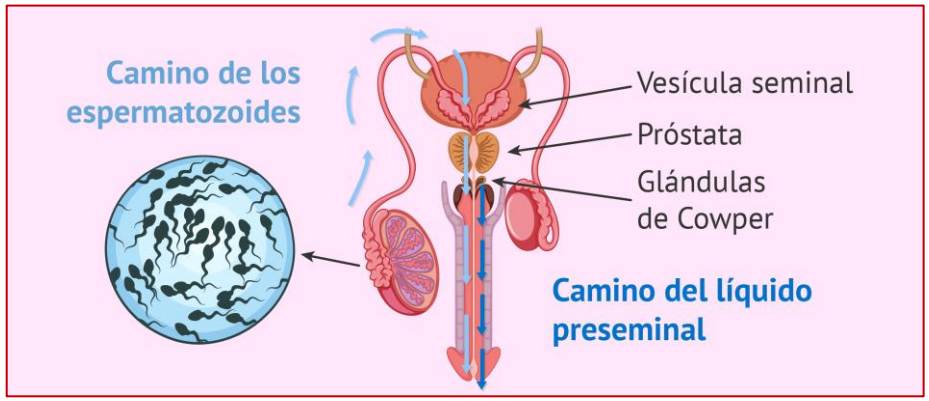
a) Vesícula Seminal: Son bolsas anatómicamente ubicadas en la parte anteroposterior de la vejiga, delante del recto e inmediatamente por encima de la base de la próstata, en su porción inferior se estrecha para formar a los conductos eyaculadores. Su secreción representa el 70% del semen. La naturaleza alcalina de esta secreción ayuda a neutralizar la acidez del sistema reproductor femenino (vagina). Este líquido está constituido por fructosa (importante para promover la movilidad espermática, ya que constituye una

fuente de energía), vitamina C, fibrinógeno y prostaglandinas (estimula las contracciones de los órganos del sistema reproductor femenino y que favorece el movimiento de los espermatozoides).

b) **Próstata**: Es una glándula situada bajo la parte inferior de la vejiga y es atravesada por la uretra. Esta glándula produce una secreción que sirve fundamentalmente para neutralizar la acidez de la vagina y contribuir a la motilidad y viabilidad de los espermatozoides (constituyendo el 20% del semen). La secreción prostática contiene lípidos, enzimas proteolíticas, fosfatasa ácida y ácido cítrico, calcio, amilasa, hialuronidasa, colesterol, espermina, seminalplasmina (que actúa como un antibiótico), entre otros.

c) **Glándulas de Cowper**: Llamadas también glándulas bulbouretrales; ubicadas a ambos lados del inicio de la uretra, producen un líquido viscoso, claro y alcalino (10% del semen), su función es neutralizar la acidez uretral y es este líquido mucoso que precede a la liberación del semen.

Fig. 8.13: Glándulas anexas del sistema reproductor masculino



Nota: la imagen fue tomado y adaptado de *https://www.reproduccionasistida.org/liquido-preseminal/aparato-reproductor-masculino/*

8.4.3 SEMEN

El semen es el líquido que se expulsa a través de la eyaculación. En cada eyaculación se libera entre 2,5 - 5 ml, siendo el volumen promedio de 3.4 ml. El número promedio de espermatozoides eyaculados por ml es de 50 - 150 millones. Si el número es inferior a 20 millones por ml, el varón puede tener una predisposición a ser infértil. Su pH está entre 7.2 y 8.0 aproximadamente (Owen & Katz, 2005). El semen está constituido por los espermatozoides y las secreciones de las vesículas seminales, próstata y glándulas de Cowper. Posee

fructosa, vitamina C, fibrinógeno, prostaglandinas, enzimas proteolíticas, fosfatasa ácida, ácido cítrico, calcio, amilasa, hialuronidasa, colesterol, espermina, seminalplasmina, etc. La secreción prostática contribuye con la composición del semen, otorgándole una apariencia opalescente y lechosa debido a su contenido enzimático y de proteínas específicas y la secreción de las vesículas seminales y glándulas de Cowper le da una consistencia mucosa. El semen proporciona nutrientes a los espermatozoides y es un medio de transporte adecuado. Este líquido neutraliza el medio ácido de la uretra masculina y fundamentalmente el de la vagina. Contiene un antibiótico llamado seminalplasmina, que destruye ciertas bacterias presentes en el sistema reproductor femenino.

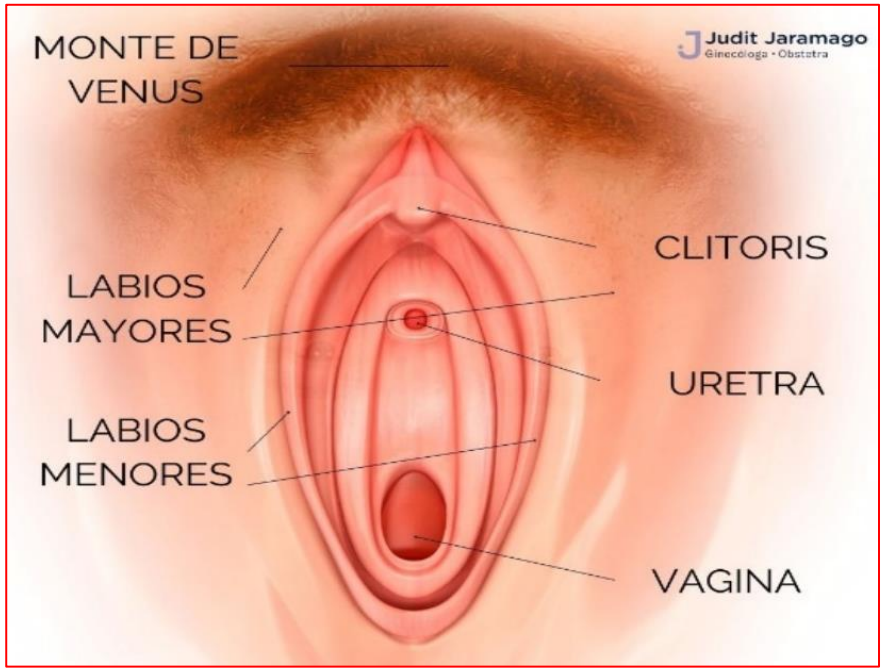
8.5 SISTEMA REPRODUCTOR HUMANO FEMENINO

El sistema reproductor femenino es el encargado de formar gametos femeninos (óvulos), de sintetizar las hormonas sexuales, de realizar la copulación, la fecundación, y de recibir y alojar al cigoto para el posterior parto del nuevo ser.

8.5.1 ÓRGANOS EXTERNOS

La vagina se abre al exterior en la vulva, que constituye el conjunto de los órganos genitales externos femeninos. En su estructura posee las siguientes partes (ver figura 8.14): monte de venus (prominencia de tejido adiposo cubierta de vello pubiano, ubicada en la parte anterior de la vulva, en la unión de piernas y torso), labios mayores (estructura homóloga del escroto) y labios menores (son pliegues de la piel que protegen los órganos internos), el clítoris (es un órgano sensible debido a su alta concentración de terminaciones nerviosas, con una estructura eréctil homóloga al pene masculino y rodeada por el prepucio del clítoris), el himen (es un delgado anillo de tejido que algunas veces bloquea parcialmente la entrada a la vagina), las glándulas de Bartholin situadas cerca al introito vaginal (homóloga de las glándulas de Cowper), detrás de los labios menores, secretan moco hacia el vestíbulo que favorece la lubricación e hidratación de los tejidos, y las glándulas de Skene situadas cerca al orificio uretral (homóloga de la próstata).

Fig. 8.14. Anatomía de los órganos externos femeninos

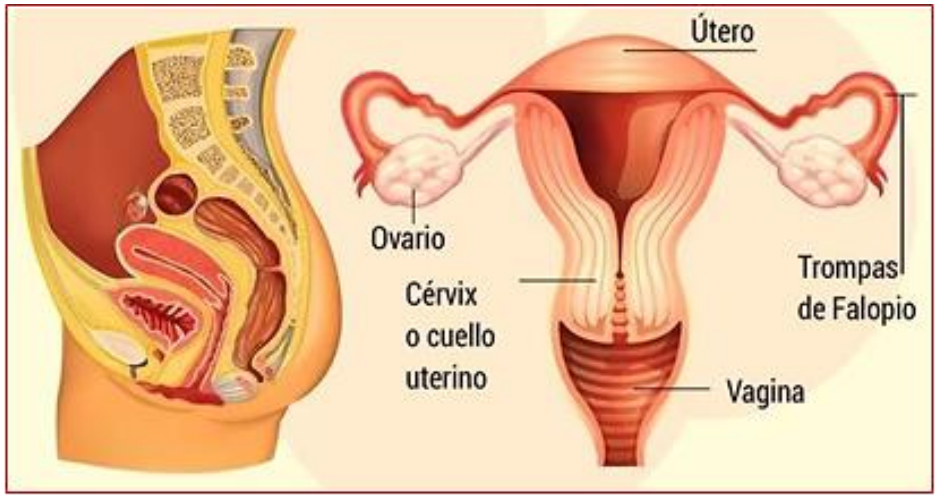


Nota: la imagen fue tomado y adaptado de *https://www.doctorajaramago.com/anatomia-genitales-femeninos/*

8.5.2 ÓRGANOS INTERNOS

a) Vagina: es un órgano tubular con paredes musculares muy elásticas, que se expanden fácilmente para favorecer el trabajo de parto y las relaciones sexuales. Mide aproximadamente de 7 a 10 cm. Internamente está cubierto por un epitelio estratificado plano no queratinizado.

Fig. 8.15. Anatomía de los órganos internos femeninos



Nota: la imagen fue tomado y adaptado de *https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/2021/07/13/aparato-reproductor- femenino/*

Funciones de la vagina:

- Canaliza la sangre durante la menstruación.
- Es un canal natural del parto, permite la salida del feto y de la placenta.
- Protección contra infecciones vaginales gracias a la presencia de los bacilos de Doderlein quienes producen

un pH ácido (4.0 a 4.5), debido a que transforma el glucógeno en ácido láctico.

- Órgano copulador femenino.
- Ruta anatómica de transporte y almacenamiento de espermatozoides que conduce al proceso de fecundación del óvulo durante la reproducción.

b) Útero: Es un órgano muscular con forma de pera invertida, que se expande a medida que progresa el embarazo y se contrae fuertemente durante el parto. Está formado por tres zonas anatómica y funcionalmente distintas:

- **Cuerpo uterino**: a los lados del cuerpo uterino se encuentran unidas las trompas de Falopio. Igualmente, se encuentra el fondo, ubicado por encima del punto de entrada de ambas trompas. En el cuerpo uterino es donde ocurre normalmente la implantación del blastocito. En el caso de una implantación en otra zona, se podría presentar un embarazo ectópico.
- **Istmo uterino**: es la porción estrecha que separa el cuerpo uterino del cuello uterino. La unión del cuello al cuerpo se llama orificio interno, mientras que su unión a la vagina se conoce como orificio externo.
- **Cuello uterino**: debajo del istmo, su extremo inferior se une con la porción superior de la vagina.

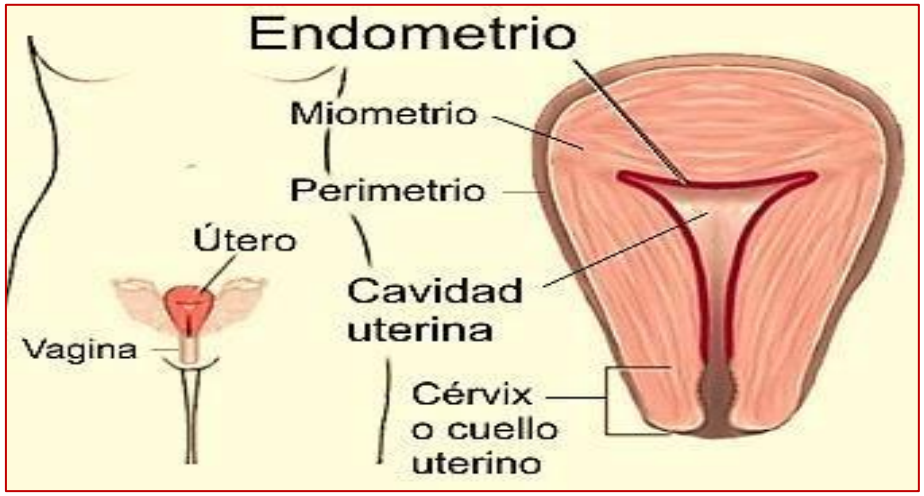
Histológicamente, la pared del útero está formada por tres capas (ver figura 8.16):

- **Endometrio**: Comprende dos capas: 1) el endometrio basal, se ubica encima del miometrio, no se desprende durante la menstruación; y 2) el endometrio funcional, se encuentra sobre el endometrio basal, muy sensible al cambio de los niveles de diferentes hormonas, es además una capa muy rica en vasos sanguíneos, que se prepara cada ciclo ovulatorio para recibir al óvulo fecundado; se desprende durante la fase menstrual y es regenerada a partir de las células madre del endometrio basal.
- **Miometrio**: es una capa gruesa de musculatura lisa, dispuesta en tres capas: longitudinal interna, circular media y longitudinal externa, cuyas contracciones permiten la expulsión del feto durante el parto.
- **Perimetrio**: es una envoltura serosa que cubre externamente al útero.

Funciones del útero:

- **Menstruación**: Desprendimiento de la capa funcional del endometrio acompañado de sangrado.
- **Gestación**: Empieza con la implantación del producto de la fecundación en el endometrio (Blastocisto), Aproximadamente al sexto día después de la fecundación.
- **Parto**: Expulsión del feto por el canal vaginal por contracciones rítmicas del miometrio, ayudada por la hormona oxitocina.

Fig. 8.16. Histología del útero.

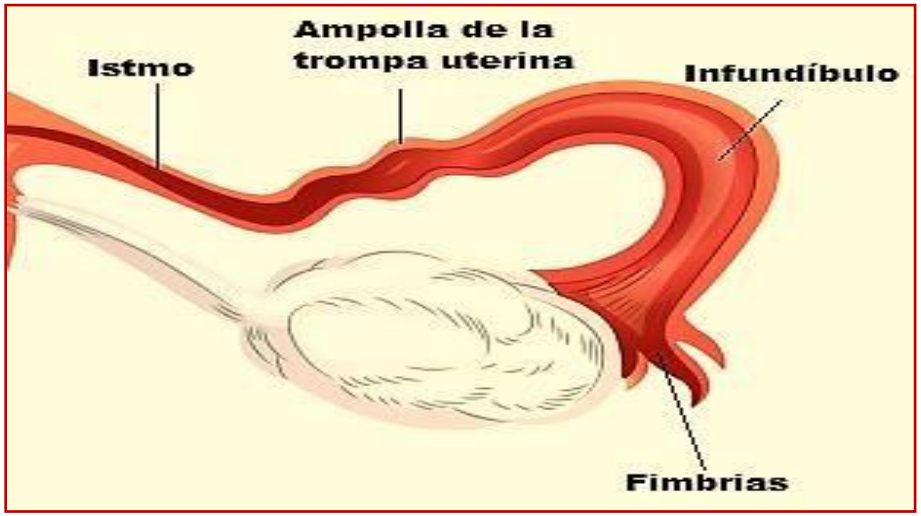


Nota: la imagen fue tomada de *http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/sexualidad/utero1.jpg*

c) Trompas de Falopio: Llamados también oviductos; son unos conductos que van desde los ovarios hacia el útero, recoge el óvulo y, por medio de la contracción de los músculos de sus paredes, contribuyen a la movilidad del óvulo o del cigoto hasta el útero. Miden de 10 a 12 cm y presentan cuatro zonas (ver figura 8.17), del útero al ovario:

- **Istmo**: Porción estrecha que conecta a la ampolla con el útero.
- **Ampolla**: Sección más amplia donde suele ocurrir la fecundación.
- **Pabellón**: es una apertura en forma de embudo que se relaciona estrechamente con el ovario; recoge los ovocitos mediante las fimbrias digitiformes.
- **Fimbrias**: son estructuras que conectan las trompas de Falopio con los ovarios.

Fig. 8.17. Anatomía de las trompas de Falopio



Nota: la imagen fue tomada de *https://2.bp.blogspot.com/-W1-arctsM7M/V6vqHbgQkYI/AAAAAAAAOk0/Ql3tz71O93M2tM7e1gAKFb2NkTcYedo-gCLcB/s1600/Partes%2Bde%2Blas%2BTrompas%2Bde%2BFalo*

Funciones de las trompas de Falopio:

- Transporte del óvulo o del cigoto desde el ovario hacia el útero, por contracciones musculares y movimiento de los cilios de su epitelio simple cilíndrico.
- Nutrición del cigoto.
- La fecundación ocurrirá en el tercio externo de la trompa (Ampolla), con la posterior formación del cigoto, el cual se desplazará hasta el útero para su implantación en el endometrio.

d) Ovarios: Son las gónadas femeninas, es decir, los órganos donde se encuentran y se desarrollan las células sexuales femeninas.

Histología de los ovarios:

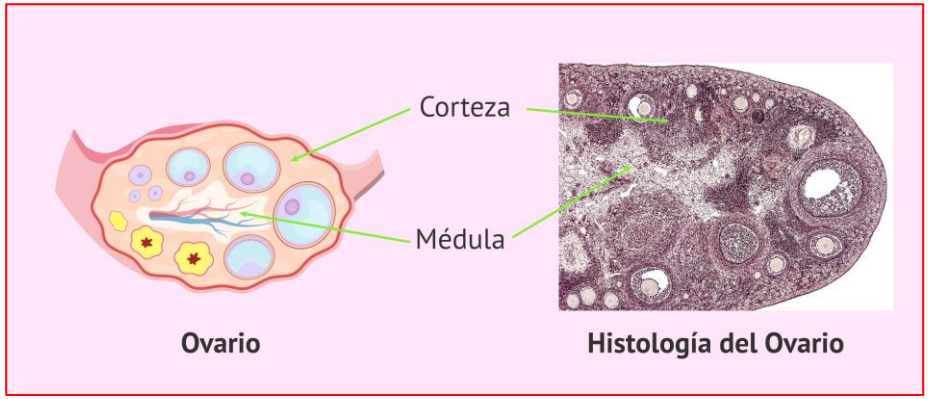
- **Región cortical**: Contiene predominantemente folículos en diferentes estados de maduración, así como también el cuerpo lúteo y el cuerpo albicans, rodeado de tejido conectivo subyacente llamado estroma. En esta región se observan los folículos ováricos que secretan la hormona estrógeno, uno de estos folículos cuando está maduro expulsan al ovocito secundario llamado óvulo (durante la fase de ovulación) y se transforma en cuerpo amarillo o lúteo. Este cuerpo lúteo segrega la hormona progesterona que prepara el endometrio para una posible implantación y gestación, además produce la hormona inhibina y relaxina. En el caso de que no exista la fecundación, el cuerpo lúteo se transforma en el cuerpo albicans.

- **Región medular**: Formada por tejido conectivo laxo, contiene numerosos vasos sanguíneos, linfáticos y nervios. En la médula no hay folículos ováricos y su función principal es la de nutrir y sostener a la corteza.

Funciones del ovario:

- Ovogénesis o formación de ovocitos.
- Producción de hormonas: progesterona, estrógenos, inhibina, relaxina.
- Ovulación (expulsión del ovocito secundario).

Fig. 8.18. Estructura e histología del ovario



Nota: la imagen fue tomada de *https://www.reproduccionasistida.org/trasplante-de-tejido-ovarico/ovario-partes/*

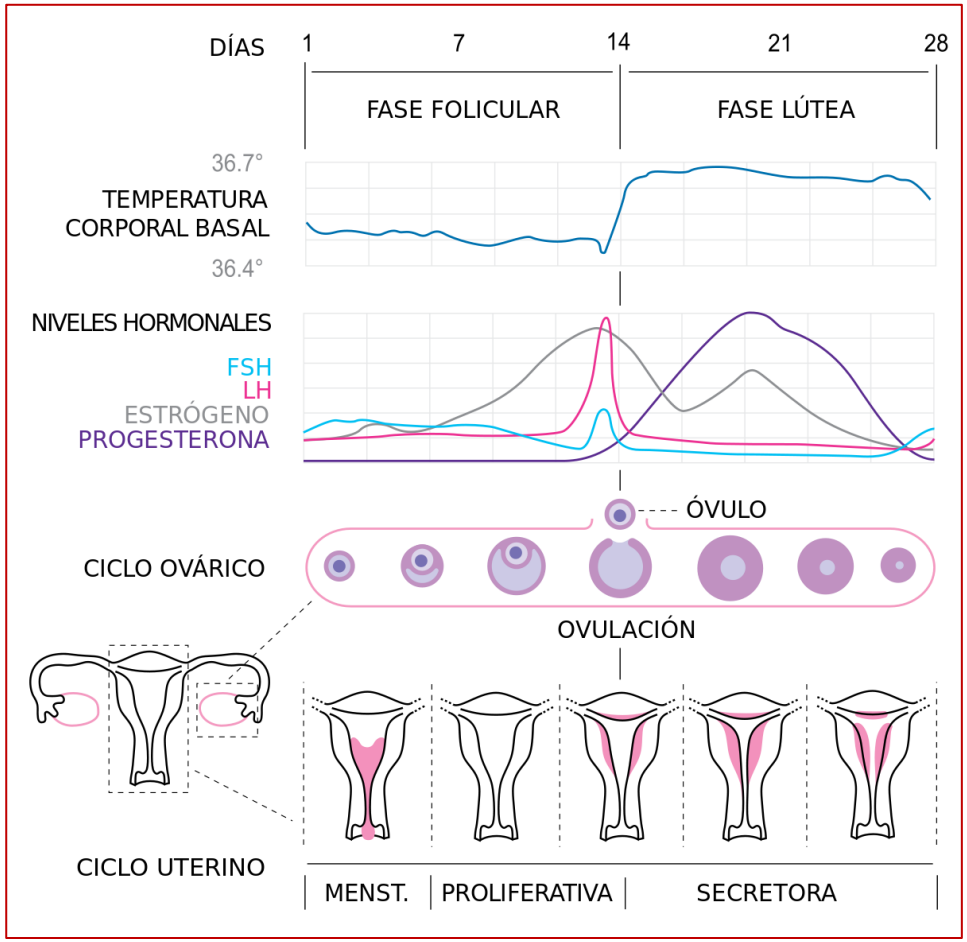
8.6 CICLO MENSTRUAL

El ciclo menstrual femenino es un proceso fisiológico natural y complejo que ocurre aproximadamente cada 28 días, preparándose para un posible embarazo mediante una serie de cambios hormonales y estructurales en el cuerpo. Este ciclo se divide en cuatro fases: menstrual, proliferativa, secretora e isquémica, reguladas principalmente por las hormonas estrógeno y progesterona (Oficina para la Salud de la Mujer, 2023).

La primera menstruación se denomina menarquia y la condición de finalización natural y permanente de la menstruación y la fertilidad se denomina menopausia.

La sumatoria de las fases del ciclo menstrual, incluyendo aspectos hormonales, ováricos y uterinos la observamos en la figura 8.19.

Fig. 8.19. Fases del ciclo menstrual a nivel ovárico, hormonal y uterino



Nota: la imagen fue tomado de *https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_sexual_femenino*

8.6.1 FASE MENSTRUAL

Durante la fase menstrual del ciclo, el endometrio (la capa interna del útero), se descama y se elimina junto con sangre (entre 50 ml y 150 ml) a través del cérvix y la vagina. Este proceso es el resultado de una disminución en los niveles de estrógeno y progesterona, las principales hormonas sexuales femeninas.

La menstruación suele durar de 3 a 7 días y marca el inicio del ciclo menstrual. A nivel fisiológico, se observa un aumento en la producción de prostaglandinas, que contribuyen a las contracciones uterinas y a la expulsión del endometrio. Morfológicamente, el útero muestra un aspecto más delgado y reducido durante esta fase, preparándose para el inicio de un nuevo ciclo de proliferación bajo la influencia hormonal renovada (American College of Obstetricians and Gynecologists, 2020).

Los componentes de la sangre menstrual incluyen glóbulos rojos, glóbulos blancos, plaquetas, células epiteliales descamadas del endometrio, y diversos tipos de fluidos y secreciones como el moco cervical, y fluidos intersticiales (American Society for Reproductive Medicine, 2019).

El dolor físico intenso durante la fase menstrual se conoce como dismenorrea y la ausencia de períodos menstruales se conoce como amenorrea.

Se considera el primer día de la menstruación como el día 1 del ciclo menstrual.

8.6.2 FASE PROLIFERATIVA

Durante la fase proliferativa del ciclo menstrual, que sigue a la menstruación, los ovarios bajo la influencia de hormonas como el estrógeno comienzan a madurar varios de sus folículos y es por esto por lo que, esta primera fase, también se le conoce como fase folicular. El aumento de los niveles de estrógeno se da gracias al aumento de las hormonas FSH y LH. Este aumento en los niveles de estrógeno estimula el crecimiento y engrosamiento del endometrio.

A nivel fisiológico, las glándulas endometriales proliferan y se vuelven más glandulares y vascularizadas, preparándose para la posible implantación de un óvulo fecundado. Anatómicamente, el útero aumenta de tamaño y se vuelve más esponjoso y vascularizado debido a la proliferación de células y vasos sanguíneos en el endometrio. Esta fase es crucial para crear un ambiente óptimo para la implantación y el desarrollo inicial del embrión si la fecundación ocurre.

La fase proliferativa dura aproximadamente 9 días.

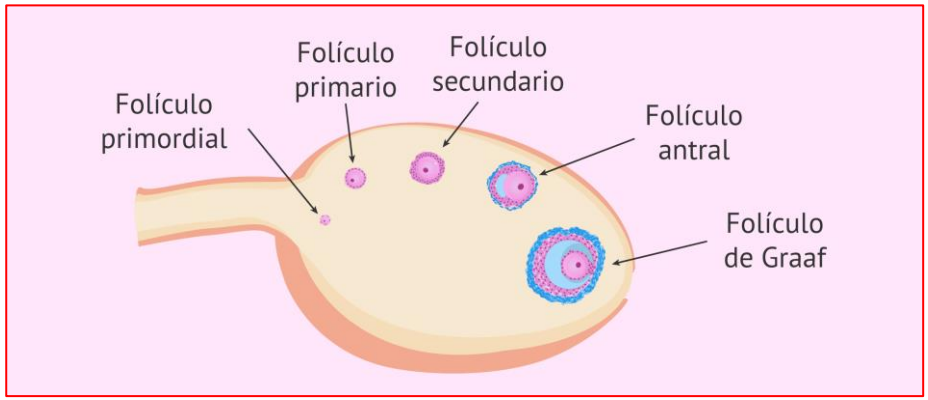
La foliculogénesis

La foliculogénesis es el proceso mediante el cual los folículos ováricos maduran en el ovario durante el ciclo menstrual (ver figura 8.20). Comienza con la activación de varios folículos primordiales en reposo, de los cuales uno dominante se desarrolla hasta convertirse en un folículo maduro capaz de liberar un óvulo.

Este proceso está regulado por complejas interacciones hormonales entre la hipófisis y los ovarios. La hormona folículo estimulante (FSH) secretada por la hipófisis estimula el crecimiento y desarrollo inicial de los folículos primordiales. A medida que avanza la foliculogénesis, el folículo dominante secreta estrógeno, que inhibe la secreción de FSH y promueve el crecimiento del endometrio. Según sus características celulares podemos clasificar a los folículos como primordial, primario, secundario, antral y folículo de Graaf.

Finalmente, la ruptura del folículo maduro y la liberación del óvulo, conocido como ovulación, son eventos clave que marcan el pico de la foliculogénesis y el inicio de la fase lútea del ciclo menstrual.

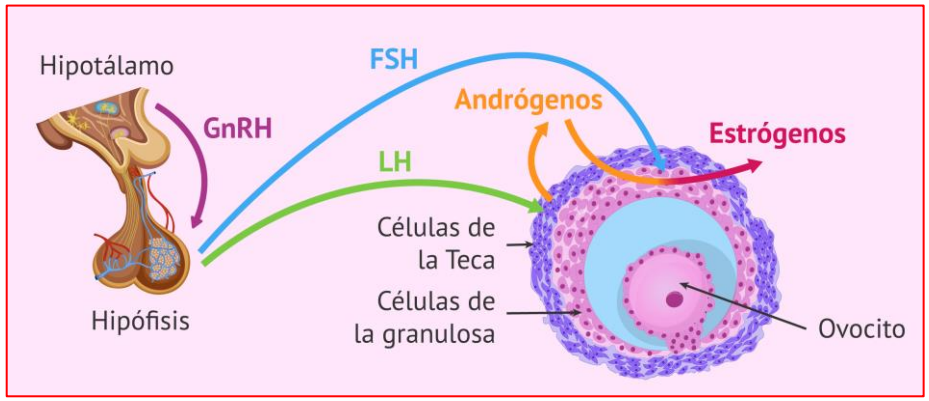
Fig. 8.20. Proceso de foliculogénesis



Nota: la imagen fue tomado de *https://www.reproduccionasistida.org/foliculogenesis/*

El control hormonal de la foliculogénesis se puede observar en la figura 8.21.

Fig. 8.21. Control hormonal de la foliculogénesis



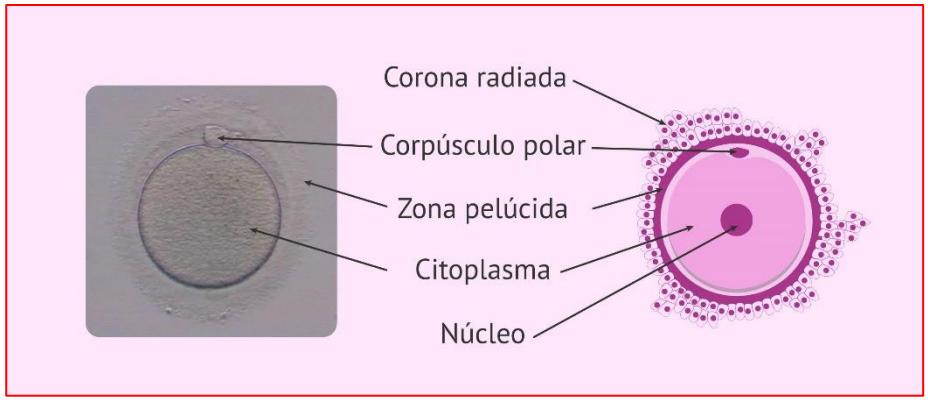
Nota: la imagen fue tomada y adaptada de https://www.reproduccionasistida.org/foliculogenesis/control-hormonal-desarrollo-folicular/

8.6.3 OVULACIÓN

La ovulación es el proceso en el cual un óvulo maduro (proveniente de un folículo de Graaf) es liberado desde el ovario hacia la trompa de Falopio, donde puede ser fertilizado por un espermatozoide (ver figura 8.22). Fisiológicamente, la ovulación está desencadenada por un aumento repentino y significativo de la hormona luteinizante (LH), que es secretada por la hipófisis en respuesta a niveles elevados de estrógeno durante la fase proliferativa del ciclo menstrual. Este aumento de LH induce la

maduración final del folículo dominante en el ovario y la ruptura de la pared folicular, liberando así el óvulo.

Fig. 8.22. Características de un ovocito maduro



Nota: la imagen fue tomado de *https://www.reproduccionasistida.org/ovocito/*

A nivel celular, la ruptura del folículo liberador del óvulo libera una combinación de fluido folicular, sangre y el óvulo maduro mismo, que luego es capturado por las fimbrias de la trompa de Falopio. Anatómicamente, el ovario experimenta un cambio temporal visible debido a la formación de un cuerpo lúteo en el lugar donde ocurrió la ovulación. Este cuerpo lúteo se desarrolla a partir del folículo roto y secreta progesterona, preparando el endometrio para la posible implantación de un embrión fertilizado.

8.6.4 FASE SECRETORA/LÚTEA

La fase secretora del ciclo menstrual, posterior a la ovulación, está marcada por cambios significativos en la fisiología, la anatomía y la función hormonal del sistema reproductivo femenino. Fisiológicamente, esta fase es dominada por la influencia del cuerpo lúteo, que se forma a partir del folículo ovárico después de la ovulación.

El cuerpo lúteo secreta progesterona y cantidades menores de estrógeno, lo que promueve el crecimiento y la vascularización del endometrio en preparación para la implantación del óvulo fertilizado. A nivel celular, las glándulas endometriales comienzan a secretar un moco cervical espeso y rico en nutrientes, que facilita el movimiento y la supervivencia de los espermatozoides en el tracto reproductivo femenino.

Anatómicamente, el endometrio se vuelve más grueso y glandular bajo la influencia de la progesterona, preparándose para recibir y nutrir al embrión en caso de fertilización. Este aumento en la vascularización y el desarrollo glandular se evidencia en una apariencia más esponjosa y receptiva del endometrio durante la fase secretora. Hormonalmente, la progesterona y el estrógeno trabajan en conjunto para mantener

un ambiente uterino óptimo para la implantación, mientras que la supresión continua de la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) durante esta fase evita la maduración de nuevos folículos y mantiene la integridad del cuerpo lúteo.

En el caso de una fertilización e implantación de un embrión, los niveles de progesterona seguirán aumentando y se iniciaría con las primeras semanas de gestación y todos los cambios fisio anatómicos respectivos.

En el caso de que no haya una fertilización se continúa con la fase final, es decir, la fase isquémica.

8.6.5 FASE ISQUÉMICA

La fase isquémica del ciclo menstrual ocurre hacia el final del ciclo si no se ha producido la fertilización y se caracteriza por cambios fisiológicos, anatómicos y hormonales en el sistema reproductivo femenino. Fisiológicamente, el cuerpo lúteo, que ha estado secretando progesterona, se comienza a degenerar debido a la disminución de las hormonas estimulantes. Esto conduce a una reducción en la vascularización del endometrio y a una disminución en la producción de sustancias nutritivas por parte de las glándulas endometriales.

Anatómicamente, el endometrio experimenta un proceso de desintegración gradual. Las células endometriales que no reciben suficiente nutrición y soporte hormonal comienzan a morir y se desprenden, marcando el inicio de la fase premenstrual. Esta pérdida de soporte hormonal también afecta la estructura del endometrio, que se vuelve más delgado y menos glandular a medida que avanza hacia la fase menstrual.

Hormonalmente, los niveles de progesterona y estrógeno caen significativamente debido a la degeneración del cuerpo lúteo. Esta disminución hormonal desencadena un aumento en la liberación de la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH), preparando así el ovario para el inicio de un nuevo ciclo menstrual y el proceso de maduración de un nuevo folículo ovárico.

8.6.6 IMPORTANCIA DEL CICLO MENSTRUAL

El ciclo menstrual cumple varias funciones importantes en el cuerpo de la mujer que son fundamentales para la reproducción y la salud reproductiva:

- **Producción y liberación de óvulos**: El ciclo menstrual facilita la maduración y liberación periódica de óvulos

maduros desde los ovarios, lo cual es esencial para la fertilización y la reproducción.

- **Preparación del útero para la implantación**: Durante el ciclo menstrual, el endometrio del útero experimenta cambios cíclicos bajo la influencia de hormonas como estrógeno y progesterona, preparándolo para recibir y nutrir un óvulo fecundado.
- **Regulación hormonal**: El ciclo menstrual está controlado por una compleja interacción de hormonas, incluyendo estrógeno, progesterona, hormona folículo estimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH), que aseguran la maduración folicular, la ovulación y la preparación adecuada del útero.
- **Eliminación de tejido endometrial**: Si no hay fertilización, el ciclo menstrual también incluye la descamación y eliminación del revestimiento endometrial (menstruación), lo cual ayuda a mantener la salud del útero y elimina tejidos potencialmente dañinos.
- **Indicador de la salud reproductiva**: El ciclo menstrual regular y sus variaciones, pueden servir como un indicador de la salud reproductiva general de la mujer, incluyendo la función hormonal, la ovulación adecuada y la salud del útero.

El ciclo menstrual no solo facilita la reproducción al permitir la liberación de óvulos y preparar el útero para la implantación, sino que también cumple funciones importantes en la regulación hormonal y la salud reproductiva general de la mujer.

8.7 CONSERVACIÓN AMBIENTAL

Se denomina "Conservación" a la gestión de la utilización de la biósfera por el ser humano, de tal suerte que produzca el mayor y sostenido beneficio para las generaciones actuales, pero que mantenga su potencialidad para satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones futuras. La conservación es positiva y abarca la protección, el mantenimiento, la utilización sostenible, la restauración y la mejora del entorno natural. La conservación de los recursos vivos incluye los elementos inanimados del medio ambiente de los que dependen.

A pesar de la necesidad de concentrar los esfuerzos de conservación en especies individuales que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción, la manera más eficaz de proteger la diversidad biológica global es la preservación de hábitats o comunidades ecológicas enteras. De hecho, es

probablemente la única manera en la que será posible conservar con éxito la diversidad biológica de la Tierra dado el limitado conocimiento de la biología de la mayoría de las especies y la naturaleza compleja de las interacciones entre especies en el contexto de la comunidad.

A diferencia del enfoque de conservación de poblaciones, que se concentra en la protección de una única especie y en sus requisitos de hábitat específicos, el enfoque basado en la comunidad exige una comprensión de la relación entre los patrones globales de diversidad biológica y las características del paisaje. Uno de los elementos clave al diseñar un programa para proteger la diversidad de especies global en determinada región es la comprensión de las relaciones entre la superficie y la riqueza de especies (Smith, 2007).

8.7.1 ASPECTOS DE LA CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE

La conservación de la naturaleza y de los recursos naturales se basa esencialmente en tres aspectos:

- Ordenar espacio y permitir opciones de uso de recursos.
- Conservar patrimonio natural, cultural e histórico del país.
- Conservar los recursos naturales, base de la producción.

8.7.2 ORDENAMIENTO DEL ESPACIO

Debido al crecimiento de la población y la expansión continua de las actividades humanas, se hace necesario ordenar el uso del espacio mediante la zonificación ecológico-económica; la cual tiene como objetivo establecer la ocupación del espacio, dar garantías para las inversiones en el largo plazo, y garantizar un uso racional de los recursos, a fin de evitar impactos ambientales negativos e irreversibles que destruyan la base productiva del país (suelos, aguas, bosques, diversidad biológica). La finalidad del ordenamiento espacial, es permitir diversas opciones o modelos de utilización de un territorio, permitiendo el desarrollo sostenible.

a) Opciones basadas en el uso de recursos, sin alterar el ambiente de forma significativa:

- La conservación de áreas únicas por los paisajes, restos arqueológicos y la diversidad biológica para su uso con fines científicos y/o turísticos. Ejemplo: Áreas protegidas a nivel nacional y local.
- Áreas destinadas a la caza, pesca y a la recolección de las comunidades nativas y pobladores rurales. Ejemplo: Tierras de comunidades indígenas, reservas comunales.

b) Opciones basadas en la sustitución del ecosistema original:

- Áreas destinadas a la agricultura intensiva y continua de subsistencia, donde se desarrollan actividades agrícolas y forestales heterogéneas e integrales.
- Áreas destinadas a plantaciones comerciales en monocultivos extensos de plantas alimenticias e industriales, donde los suelos lo permitan.
- Áreas destinadas a pastos, ganadería y producción de carne, con técnicas adecuadas para conservar los suelos.
- Áreas destinadas a la extracción forestal intensiva y permanente, con sistemas de manejo y reposición.
- Áreas destinadas a plantaciones forestales comerciales, con especies introducidas (pinos, eucaliptos) o nativas.
- Áreas destinadas a la construcción de represas, que pueden comprometer grandes extensiones del territorio.
- Áreas destinadas a la construcción de vías de comunicación y la extracción de minerales e hidrocarburos en forma limpia, donde se debe planificar el control de impactos negativos.
- Áreas destinadas al desarrollo de centros urbanos, de crecimiento acelerado en ciertas regiones del país y ocupan cada día más superficie, en detrimento de tierras agrícolas.

8.7.3 CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Los recursos naturales se pueden dividir en dos grandes grupos: Recursos Renovables y no renovables:

a) Conservación de recursos no renovables o agotables:

Cuando se trata de recursos no renovables, lo importante es considerar el concepto de sostenibilidad débil, es decir, que la extracción de los recursos, no afecte la capacidad de generación de ingresos en el futuro. La recomendación es establecer reglas de distribución y gasto de las rentas generadas por la explotación de recursos no renovables. Así, la asignación de los recursos fiscales recaudados a través de los diferentes tipos de canon o de las regalías, debe seguir lineamientos muy estrictos de reposición de diferentes formas de capital y no solamente en infraestructura física (Brack, 2004). Además, se debe considerar lo siguiente:

- Evitar el despilfarro, reservar recursos suficientes para el futuro. Con demasiada frecuencia, y por la urgencia de obtener

ganancias, no se planifica un uso prudente de estos recursos, con una visión hacia el futuro.

- Evitar que su uso tenga consecuencias negativas para el medio ambiente, el hombre y otros recursos. Este aspecto se refiere esencialmente a evitar la contaminación ambiental. Con frecuencia, los impactos sobre el ambiente y otros recursos naturales (agua, aire, suelo, diversidad biológica) son tan intensos que disminuyen la rentabilidad a futuro por la explotación de los recursos no renovables.

b) Conservación de recursos renovables:

Para la conservación de recursos que pueden regenerarse, se hace uso de los conceptos de Desarrollo Sostenible. Los derechos de propiedad pueden ser un instrumento utilizado para fomentar un uso sostenible de los recursos renovables, por lo tanto, se debe de tomar en cuenta que todos los recursos pertenecen a la nación y el objetivo para la sostenibilidad es lograr que los stocks de recursos no disminuyan en el tiempo (Brack, 2004). Por tanto, es de prioridad para el país:

- Manejar los recursos marinos y evitar la explotación irracional que reduzca los stocks disponibles.
- Manejar los recursos hidrobiológicos de aguas continentales.
- La conservación de las tierras agrícolas.
- La conservación del agua, la cual debe manejarse desde dos aspectos prioritarios: el manejo integral de las cuencas y el control de la contaminación ambiental.
- La conservación de cobertura vegetal en la costa y la sierra.
- El ordenamiento o zonificación del espacio en la selva alta y en la selva baja, para el uso ordenado de los recursos y la protección de las comunidades indígenas.
- La conservación de la diversidad biológica: especies, recursos genéticos y ecosistemas representativos.

8.7.4 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

El **Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP)** fue creado el 13 de mayo del año 2008, como organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio del Ambiente y ente rector del **Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE)**.

El SINANPE está conformado por las áreas naturales protegidas de administración nacional (ANP), como patrimonio natural de la Nación, que se complementa con las Áreas de Conservación Regional (ACR) y las Áreas de Conservación Privada (ACP). Por la diversidad biológica y los valores asociados de interés cultural,

paisajístico y científico que albergan, las ANP cuentan con un sistema normativo e institucional dirigido a tutelar su conservación a perpetuidad.

Actualmente, existe un total de ciento ochenta y tres (183) áreas protegidas, que comprenden 22 530 983,16 hectáreas distribuidas en costa, sierra y selva, así como en el Mar de Grau; lo que representa el 17,22 % del territorio nacional.

El esfuerzo que requiere desplegarse para lograr su conservación efectiva y el cumplimiento de sus objetivos, conducen necesariamente a promover mecanismos de cooperación con el sector público (en sus tres niveles de gobierno), el sector privado y las poblaciones locales, así como con la cooperación internacional. Por ello, durante los últimos cinco años, el SERNANP ha desarrollado una estrategia para integrar las áreas protegidas en las agendas de desarrollo sostenible de los gobiernos locales y regionales, mediante reuniones macro regionales (MINAM, 2016).

Un componente clave para la gestión de las áreas protegidas es el valioso trabajo que realizan los guardaparques, especialistas y jefes de ANP -a quienes se reconoce y agradece su vocación, esfuerzo y dedicación como verdaderos artífices de la conservación-. Ellos no solo tienen a su cargo las labores de control y vigilancia de las áreas; sino que, fundamentalmente, realizan acciones de sensibilización y orientación a las poblaciones locales para que aprovechen sosteniblemente los recursos naturales y se involucren como aliados.

El aprovechamiento de los recursos naturales constituye una estrategia que ha empoderado a las comunidades y las organizaciones de productores locales, toda vez que les permite forjar su camino para convertirse en pequeños empresarios y, fundamentalmente, incrementar sus niveles de ingresos y su calidad de vida. Estas acciones de manejo sostenible reducen amenazas de pérdida de biodiversidad y generan una cultura de conservación y consumo de insumos provenientes de cultivos sostenibles.

Como resultado, las comunidades locales se convierten en los mejores aliados para la conservación de las áreas protegidas. Como resultado de esta estrategia, se promueve la formalización para el aprovechamiento de los recursos naturales, como un mecanismo eficaz y motivador para brindar un mayor respaldo y generar nuevas ventajas comparativas en un mercado justo.

En este punto destaca el aprovechamiento del recurso “paisaje”, que ha generado el desarrollo de actividades de turismo sostenible y han empoderado a las ANP como los principales destinos turísticos del Perú. Esto solo es posible debido a su buen estado de conservación, pues “lugares únicos regalan experiencias únicas” (MINAM, 2016).

Fig. 8.22. Mapa de Áreas Naturales Protegidas

Fuente: MINAM, 2016

8.7.5 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN AREQUIPA

En Arequipa, el **SIRANP (Sistema Regional de Áreas Naturales Protegidas)** permite la gestión eficaz para la conservación de la biodiversidad de la región Arequipa. Abarca todas las áreas protegidas dentro de la región.

Dentro de las Áreas Naturales Protegidas en Arequipa tenemos:

a) Santuario Nacional Lagunas de Mejía

Ubicado en la provincia de Islay en el departamento de Arequipa a escasos metros del mar. Su extensión es de 690.6 hectáreas aproximadamente e incluye varios tipos de hábitats: totorales, pantanos, monte ribereño, gramadales y playas arenosas.

La presencia de estos humedales tiene mucha importancia pues cumplen una función valiosa para las aves migratorias como sitio de descanso y alimentación. Las Lagunas de Mejía son el único hábitat en casi 2000 km de costa con condiciones ambientales óptimas para el normal desarrollo de poblaciones de aves residentes y migratorias.

b) Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca:

Ubicada en las provincias de Arequipa y Caylloma en el departamento de Arequipa y en la provincia de General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.

Su extensión es de 366,936 ha. Su principal objetivo es conservar los recursos naturales y paisajísticos de la zona, dentro de los cuales se encuentran a los camélidos sudamericanos como las vicuñas; este singular ecosistema proporciona un valioso e irremplazable servicio ambiental: los vientos que vienen desde el altiplano puneño-boliviano provocan lluvias, nieves y granizos, entre octubre y abril, que son retenidos por los yaretales, queñuales, pajonales y tolares, almacenándolos en los bofedales, lagunas y en el subsuelo. De allí es liberada lentamente a lo largo del año, con lo cual se regula el ciclo hidrológico, para beneficio de las comunidades.

c) Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras:

Integrada por un conjunto de 22 islas, islotes y grupos de islas y 11 puntas a lo largo de la costa peruana, que van en forma discontinua desde las costas frente a Piura hasta llegar casi a la frontera con Tacna. En la ciudad de Arequipa se ubican en Punta Lomas y Punta Atico, ambas en la provincia de Caravelí, Punta

La Chira (Provincia de Camaná) y Punta Hornillos en las provincias de Camaná e Islay. Su principal objetivo es la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas marino-costeros del mar frío de la corriente de Humboldt, asegurando la continuidad del ciclo biológico de las especies que aquí habitan, así como su aprovechamiento sostenible.

d) Reserva Paisajística Subcuenca de Cotahuasi:

Ubicada en la provincia de La Unión en el departamento de Arequipa y es el área natural protegida más extensa de la sierra peruana. Tiene una extensión de 490 450,00 ha. Dentro se encuentra el cañón de Cotahuasi. Las áreas de nevados y lagunas presentes, conforman una de las principales reservas de agua dulce en los Andes Occidentales. Además, el aislamiento de la cuenca ha permitido que no se desarrollen actividades contaminantes del agua, suelo o aire, constituyéndose en valores esenciales del ambiente. En los alrededores del cañón se han identificado templos y zonas arqueológicas con extensos y antiguos andenes que reflejan el ingenio de los pueblos nativos en adaptarse a su entorno conservando el ecosistema de manera armónica.

e) Área de Conservación Privada Huamanmarca - Ochuro - Tumpullo:

Esta Área de Conservación Privada (ACP) se distribuye en una extensión de 15669 ha, en la jurisdicción de la Comunidad de Huamanmarca-Ochuro-Tumpullo ubicada en el distrito de Andaray, provincia Condesuyos, departamento, región de Arequipa, a una distancia relativamente cercana al nevado Coropuna y en la cabecera de las Subcuencas Arma-Chichas y Chorunga.

El espacio que ocupa la ACP forma parte de las zonas de captación de la cuenca del Ocoña, relacionada a las grandes masas glaciares del Coropuna, Solimana y Firura que ahora están siendo impactados por fenómenos de deglaciación, y los procesos de desertificación. Los queñuales de Humanmarca, Ochuro y Tumpullo son extensos y muy fragmentados. Son fuertemente afectados por el sobrepastoreo y están sujetos a una fuerte presión antrópica.

f) Área de Conservación Privada Uchumiri:

Esta Área de Conservación Privada (ACP) se distribuye en una extensión de 10253 ha, como parte del área de la Comunidad

Campesina de Uchumiri ubicada en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, departamento, región de Arequipa, próximo del nevado Coropuna y en la cabecera de la Subcuenca Chorunga. Los queñuales de Uchumiri son los más extensos y densos, junto a los de Huamanmarca. Son muy afectados por el sobrepastoreo y la presión que ejerce la actividad humana en sus diversas formas.

g) Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa:

Ubicada en el distrito de Atiquipa, provincia de Caravelí. Posee una extensión de 19028.02 ha. Su objetivo es proteger y conservar la diversidad biológica de las lomas y los servicios ecosistémicos que brinda a la población, así como de su patrimonio cultural a través de actividades de manejo sostenible con participación comunitaria; como toda loma, su mayor esplendor se da entre los meses de junio y noviembre.

BIBLIOGRAFÍA

1. American College of Obstetricians and Gynecologists. (2020). *Menstruation in girls and adolescents: Using the menstrual cycle as a vital sign*. Retrieved from https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2020/10/menstruation-in-girls-and-adolescents
2. American Society for Reproductive Medicine. (2019). Evaluation and treatment of recurrent pregnancy loss: A committee opinion. *Fertility and Sterility, 112*(4), 631-647. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.08.022
3. Borráz-León, J. I., Herrera-Pérez, J. J., Cerda-Molina, A. L., & Martínez-Mota, L. A. (2015). Testosterona y salud mental: Una revisión. *Psiquiatría Biológica, 22*(2), 44-49. https://doi.org/10.1016/j.psiq.2015.10.005
4. Brack, A., & Mendiola, C. (2004). *Ecología del Perú* (2ª ed.). Editorial Bruño.
5. Brüel, A. (2014). *Geneser histología* (4ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
6. Cabej, N. R. (2013). Rise of the animal kingdom and epigenetic mechanisms of evolution. In N. R. Cabej (Ed.), *Building the most complex structure on Earth* (pp. 239-298). Elsevier.
7. Curtis, H., Barnes, N., Massarini, A., & Schnerck, A. (2008). *Biología* (7ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

8. De Erice, E., & González, J. (2012). *Biología: La ciencia de la vida* (2ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A.
9. Marieb, E. (2008). *Anatomía y fisiología humana* (9ª ed.). ISBN 9788478290949
10. Méndez, M., & Navarro, J. (2014). *Introducción a la biología evolutiva*. ESEB-SOCEVOL.
11. Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). *Áreas naturales protegidas del Perú (2011-2015): Conservación para el desarrollo sostenible* (1ª ed.).
12. Owen, D. H., & Katz, D. F. (2005). A review of the physical and chemical properties of human semen and the formulation of a semen simulant. *Journal of Andrology, 26*(4), 459-469. https://doi.org/10.2164/jandrol.04104
13. Oficina para la Salud de la Mujer. (2023). *Ciclo menstrual*. Recuperado el 21 de junio de 2024, de https://espanol.womenshealth.gov
14. Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología* (6ª ed.). Pearson Educación.

TEMA 9: SISTEMA INMUNE, ENFERMEDADES Y DESARROLLO SOSTENIBLE

El sistema inmunológico es el encargado de protegernos frente al ataque de agentes externos. Tenemos dos tipos de sistema inmune, el innato y el adaptativo y cada uno presenta características especiales.

9 SISTEMA INMUNITARIO

9.1 SISTEMA INMUNITARIO

La raíz “inmun” proviene de la palabra en latín “inmunitas” que significa “libre de”. La Inmunología es una rama de las ciencias biomédicas que se ocupa del estudio del sistema inmunitario, que es el conjunto de órganos, tejidos y células, que, en los vertebrados, tiene como función reconocer elementos ajenos generando una respuesta. (Cataño, 2019).

También es importante definir que es inmunidad, pues ella es el estado de resistencia que presentan los organismos frente a la infección. (Cataño, 2019).

Es importante saber que la Respuesta Inmune, es el conjunto de mecanismos que ponen en marcha el sistema inmune cuando aparece un agente extraño, con la intención de eliminarlo o de lo contrario reducir al mínimo la capacidad del agente extraño de generar una enfermedad (Olazabal, 2018) creatividad del propio científico. Sin embargo, la ciencia se ve influida por los contextos culturales, sociales, históricos y tecnológicos, así el proceso cambia con el tiempo.

9.1.1 TIPOS DE INMUNIDAD

El sistema inmune es responsable de la defensa contra los microorganismos, la cual consiste en diversas respuestas secuenciales y coordinadas, las cuales se les conoce como inmunidad innata (inmunidad con la que los individuos nacen) y adaptativa (también se conoce como inmunidad adquirida o específica) (Abbas, 2020).

9.1.2 PROPIEDADES DEL SISTEMA INMUNE

9.1.2.1 Especificidad

Es la propiedad del sistema inmunitario de identificar y distinguir una molécula de otra y de responder sólo ante una de ellas. La Especificidad permite la generación de la memoria inmunológica, y está relacionada con los receptores de antígenos individualizados propios del sistema inmune adaptativo (Male, 2007). Una molécula reconocida específicamente por el sistema inmunitario como “extraña” y que desencadena una respuesta inmunológica, es un antígeno o inmunógeno.

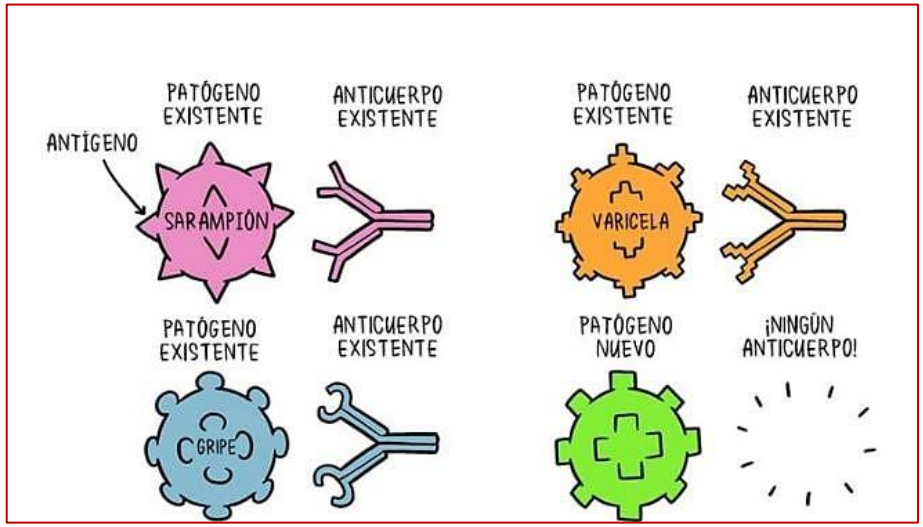
9.1.2.2 Antigenicidad

Es la capacidad que tienen ciertas sustancias para combinarse con un anticuerpo (Ac) o con una célula específicamente sensibilizada, o, en otras palabras, es la capacidad de una sustancia para desarrollar una respuesta inmune. (Silva, 2004) Esta propiedad es primordial de las macromoléculas complejas como las proteínas o los polisacáridos de alto peso molecular.

9.1.2.3 Inmunogenicidad

Es la capacidad de inducir la formación de anticuerpos (del Brío 1995) desencadenando una respuesta inmunitaria adaptativa de tipo celular y humoral. (Valor, 2013)

Fig. 9.1. Anticuerpos



NOTA: Cada molécula extraña genera un anticuerpo especifico,tomado de*: https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines/how-do-vaccines-work*

9.1.3 ÓRGANOS DEL SISTEMA INMUNE

Desde el punto de vista de sus características estructurales podemos encontrar órganos macizos como el timo, el bazo y los ganglios linfáticos y estructuras tubulares como los vasos linfáticos que se encuentra intercomunicado algunos de los órganos macizos.

El sistema inmune cuenta con diversos órganos linfoides divididos en dos grupos:

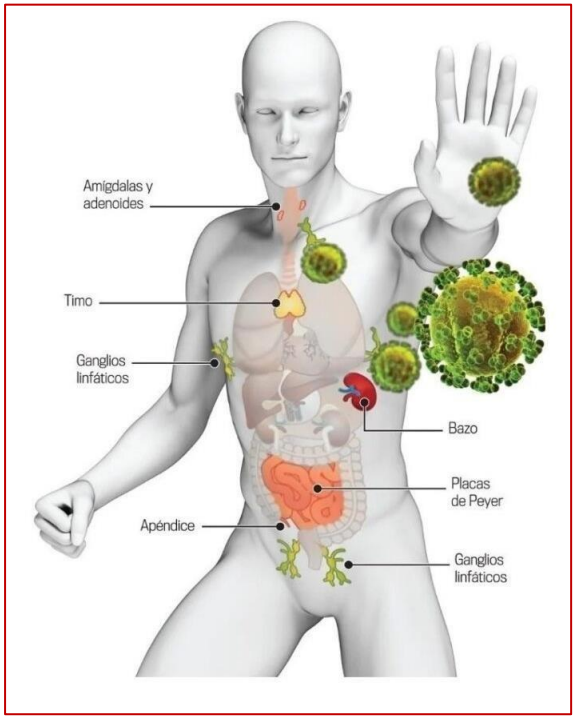
PRIMARIOS O CENTRALES

- **Médula Ósea**: donde se generan las células inmunes a partir de células troncales hematopoyéticas y maduran los linfocitos B (Abbas, 2020).
- **Timo:** donde maduran los linfocitos T, tras el reconocimiento de antígenos propios y bloquean la activación de linfocitos específicos contra antígenos propios potencialmente lesivos (Abbas, 2020).

SECUNDARIOS O PERIFÉRICOS

- **Sistema Linfático:** Los linfocitos circulan por la linfa a través de los vasos linfáticos donde pueden capturar los antígenos que llegan del líquido intersticial de los tejidos.
- **Ganglios linfáticos:** filtran los antígenos del líquido del tejido intersticial y la linfa (Male, 2007).
- **Bazo:** es reservorio de plaquetas, eritrocitos y granulocitos, aquí se pueden activar linfocitos T y B (Male, 2007).
- **Tejido Linfoide Asociados a la Mucosa:** encontramos. las amígdalas (linguales, palatinas y faríngeas), Placas de Peyer, Apéndice.

Fig. 9.2. Órganos inmunes



NOTA: la figura muestra los órganos implicados en la respuesta inmune, tomado de: *https://policlinicovalencia.es/blog/wp-content/uploads/2021/04/terapia-alternativa-para-fortalecer- sistema-*

inmunologico-D_NQ_NP_875091- MLM41790157048_052020-F-707x1024-1.jpg

9.1.4 CÉLULAS DEL SISTEMA INMUNE

Todas las células del sistema inmune se producen en la medula ósea roja y son:

9.1.4.1 Mielocitos

A. Fagocitos

Son células (neutrófilos, monocitos) que tienen por función es comer o destruir los microbios o tejidos dañados, lo cual realizan mediante una serie de pasos, primero, reclutan células en la zona de infección, segundo, reconocimiento de los microorganismos y activación por ellos, tercero, ingestión de microorganismos (fagocitosis) y, por último, destrucción de los microorganismos ingeridos. Los monocitos que se encuentran en la sangre se diferencian a macrófagos cuando ingresan a los tejidos.

a) Neutrófilos

Como Abbas y col. (2020), nos indican, constituyen la población más abundante de leucocitos circulantes y el principal tipo de célula en las reacciones inflamatoria, presentan núcleo segmentado en tres a cinco lobulillos conectados, razón por la que se les conoce como polimorfonucleares (PMN). Poseen gránulos que contienen enzimas como lisozima, colagenasa, elastasa, mieoloperoxidasa, etc. Su principal función es fagocitar microorganismos especialmente opsonizados, así como, tejido necrosado.

b) Monocitos

Los monocitos tienen un diámetro de 10 a 15micras, sus núcleos poseen una característica forma de riñón, producen mediadores inflamatorios.

c) Macrófagos

Los macrófagos son células que, provienen de precursores del saco vitelino o del hígado fetal, poseen la capacidad de autorrenovarse para mantener una cantidad constante, mayormente se encuentran en los tejidos, donde asumen fenotipos especializados, poseen una larga vida.

B. Mastocitos

Son células que se encuentran principalmente en la piel y epitelios mucosos, cuando se activan son capaces de liberar mediadores inflamatorios, son los responsables de la protección

contra helmintos y están implicados en las causas de los síntomas de enfermedades alérgicas.

9.1.4.2 Linfocitos

Son células especializadas, de diferentes clases con diversas funciones, poseen formas similares, aunque no refleje su heterogeneidad ni sus funciones.

a) Linfocitos B

Son las células que se forman en la médula ósea roja, producen anticuerpos, por lo que participan en la inmunidad humoral. Reconocen a los antígenos para poder fabricar anticuerpos específicos para ese único antígeno, activándose y convirtiéndose en células plasmáticas. Son parte del sistema inmune adaptativo.

b) Linfocitos T

Son células que, si bien se producen en la médula ósea roja, llegan al timo donde aprender a reconocer los antígenos propios de los ajenos, a lo que denominamos la maduración tímica. Son parte del sistema inmune adaptativo.

c) Linfocitos Natural Killer

Son linfocitos que participan en el sistema inmune innato, son capaces de reconocer células estresadas y dañadas, poseen una actividad citolítica, producen citotoxicidad al producir gránulos que contienen perforinas y granzimas, que son capaces de iniciar apoptosis.

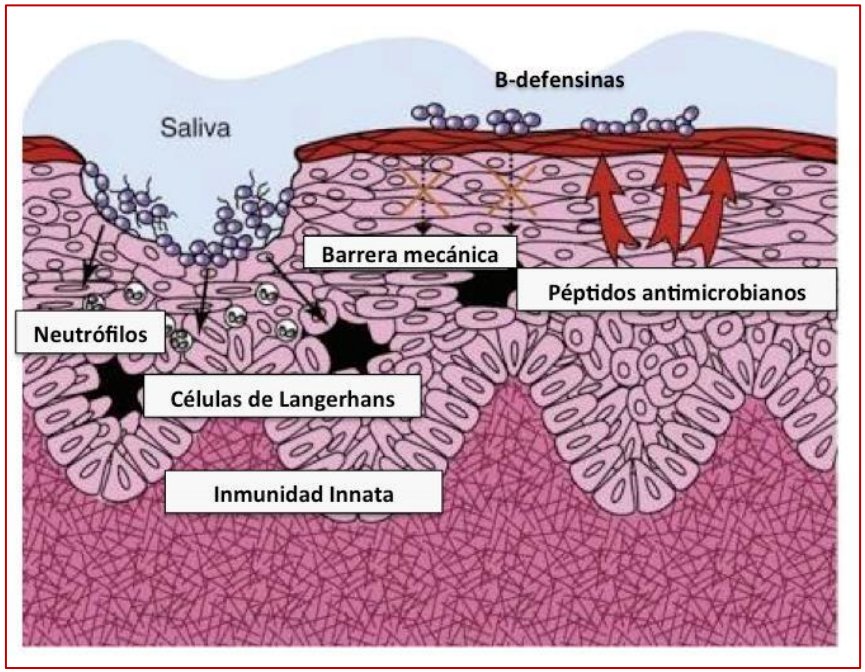
9.2 RESPUESTA INMUNE INNATA

Es conocida también como inmunidad natural o nativa, es la primera línea de defensa contra infecciones, bloqueando la invasión microbiana por medio de las barreras epiteliales (físicas, químicas y biológicas). Se considera un tipo de defensa temprana, ya que se genera inmediatamente después de la infección, aunque consiste solo de dos grupos de pequeñas reacciones inespecíficas, la inflamación y la defensa antivírica (Abbas, 2020).

El sistema inmune innato es capaz de responder de la misma manera cuando el mismo organismo reingresa al individuo ya que no guarda ninguna información del organismo ni de la respuesta generada.

La inflamación es la acumulación y activación de leucocitos y proteínas plasmáticas en los lugares de infección o lesión tisular, su misión es matar a microorganismos extraños o eliminar tejido dañado (Abbas, 2020).

Fig. 9.3. Barreras Innatas



NOTA: Barreras innatas, tomado de *https://bioquimicadental.files.wordpress.com/2016/02/captura-de-pantalla-2016-02-07-a-las-23-36-01.png*

9.2.1 BARRERAS EPITELIALES

Conformado por las barreras externas que se encuentran delimitando nuestro organismo. Son barreras físicas, químicas o biológicas. Estas poseen mecanismos inespecíficos, ya que son capaces de atacar a cualquier tipo de organismo, e innatas.

a) Físicas

Esta barrera funciona como un muro, los epitelios externos, como la epidermis de la piel e internos como los que tapizan el tubo digestivo, se encuentran sus células. Las mucosas, que envuelven cavidades que tienen partes expuestas hacia el exterior, como la boca, el ano o la vagina. A este nivel se secreta un moco que tiene por finalidad fijar e inmovilizar a muchos microorganismos, impidiendo que éstos alcancen estructuras internas. Sólo algunos patógenos que utilizan insectos picadores como vectores de transmisión pueden romper esta barrera.

b) Químicas

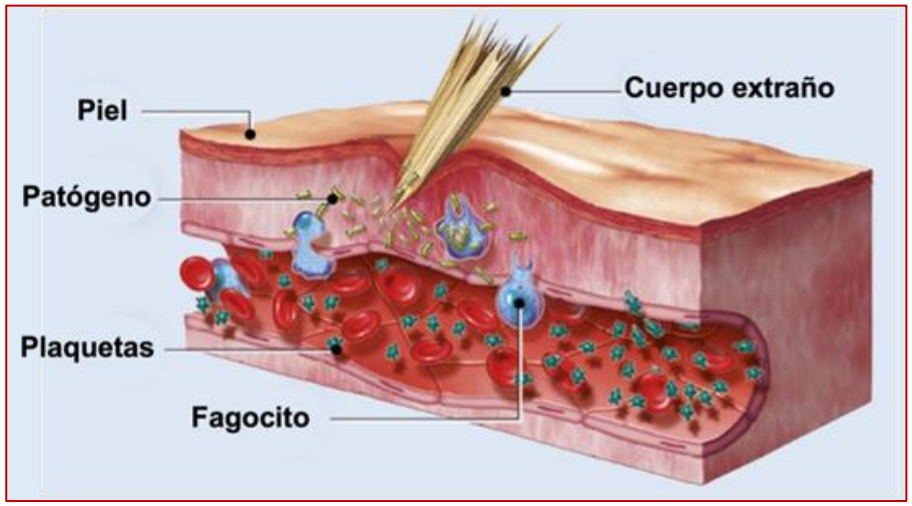
Determinadas secreciones que destruyen o impiden el desarrollo de microorganismos, como el cerumen de la oreja, la saliva, el sudor que secretan las glándulas sudoríparas de la piel, el ácido láctico vaginal, del estómago que son los ácidos gástricos los

cuales eliminan gran parte de las bacterias que ingresan al sistema digestivo, o la lisozima de las lágrimas y la saliva que tienen la propiedad de ser bactericidas

c) Biológicas

Las bacterias simbióticas de la vagina, o las conformadas por la microbiota intestinal, formada por un conjunto de bacterias que viven en el intestino en una relación de simbiosis con el ser humano. Este conjunto forma parte de la microbiota normal y todos ellos impiden el desarrollo de hongos o bacterias ajenas a estos.

Fig. 9.4. Respuesta inmune innata

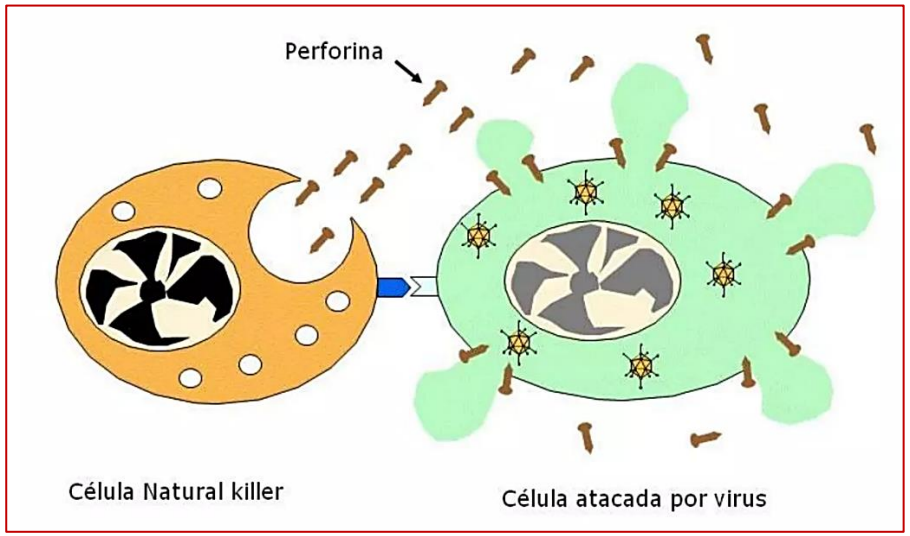


NOTA: respuesta inmune innata, tomado de *https://educaina.com/wp-content/uploads/2021/09/Imagen-1.png*

9.2.2 ROL DE LAS NATURAL KILLER

Las NK son células que proporcionan actividad citotóxicas inespecíficas dirigidas contra las células infectadas por virus y células tumorales, mediante el mecanismo de ADCC (citotoxicidad dependiente de anticuerpos), mediante la unión a anticuerpos por medio de sus receptores CD16 de las NK lo que produce su activación y por consiguiente la destrucción de la célula que expresa el anticuerpos. Su principal función es la destrucción de células infectadas o transformadas mediante un ataque a su membrana plasmática con perforinas, perforando la misma y haciendo que estalle la célula.

Fig. 9.5. Mecanismo de las Natural Killers



NOTA: Citotoxicidad de NK tomado de *https://es.slideshare.net/slideshow/clulas-natural-killer-y-su-uso-antitumoral/33277062*

9.2.3 SISTEMA DEL COMPLEMENTO

Se trata de un conjunto de proteínas constituidas por aproximadamente 30 componentes de los cuales la mayoría son enzimas (serin-proteasas), inhibidores, inactivadores y receptores Su activación promueve la inflamación, la fagocitosis y la lisis celular, además de que juega un papel modulador de la función de células de la inmunidad adquirida (Rojas-Espinosa, 2006).

La activación del complemento se realiza mediante la activación de 3 vías:

Vía Clásica: se forma un complejo entre el antígeno y el correspondiente anticuerpo y esta unión activa a C1 quien activa a C4 y está a C2, este complejo activa a la convertasa C3 quien se fragmenta en C3b que actúa como opsonina y C3a una aflatoxina proinflamatoria que activa mastocitos.

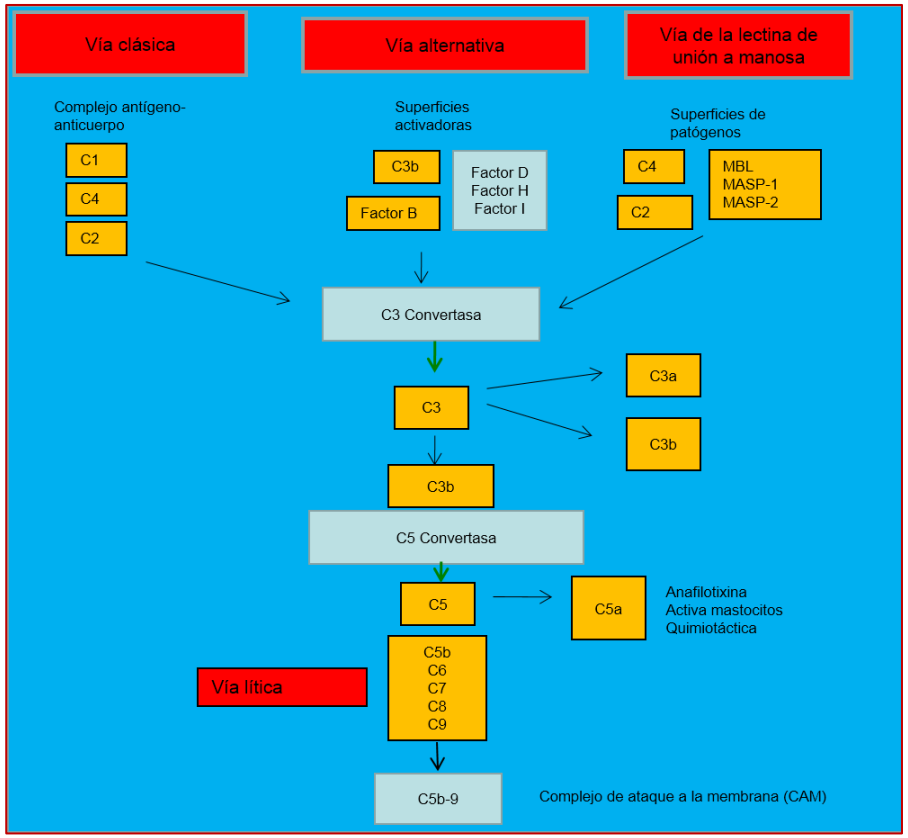
Vía Alternativa: La presencia de moléculas de las paredes bacterianas y fúngicas activan a los Factores D, H e I y también C3b activan a la convertasa C3 produciendo que esta, se clive en C3a y C3b.

Vía de la lectina: Las lectinas se unen a las manosas de la pared celular bacteriana, esto permite la activación de C4 y C2 para formar la convertasa C3.

Una vez que se activa la convertasa C3 y se fragmenta en C3b activa a la convertasa C5, quien también se fragmenta en C5a que es una aflatoxina quien activa mastocitos, C5b se une a C6, C7, C8 y C9 quienes forman el Complejo de Ataque a la

Membrana (CAM), insertándose en la membrana de las células bacterianas.

Fig. 9.6. Vías del Complemento



NOTA: Vías del Complemento tomado de *https://www.immunology.org/es/public-information/inmunolog%C3%ADa-bitesized/systems-processes/sistema-del-complemento*

El sistema del complemento también está implicado en la coagulación sanguínea, la fibrinólisis (Kaplan, 2020), la lisis directa del microorganismo, quimiotaxis sobre fagocitos, recubrimiento del microorganismo con una de las proteínas del complemento llamada opsonina (la C3b), lo que facilita la fagocitosis (a este fenómeno se le llama opsonización) La activación del complemento controla también la reacción de inflamación aguda, que activa al CAM. Favorecen la Quimiotaxis de los PMN.

9.3 INMUNIDAD ADAPTATIVA O ESPECÍFICA

Cuando la inmunidad innata no cumple con el objetivo de eliminar al agresor, los vertebrados mandibulados hemos desarrollado una forma de defensa más sofisticada empleando moléculas que funcionan como “adaptadores flexibles” (anticuerpos), en esta inmunidad participan dos tipos de células, los linfocitos B y los Linfocitos T, los cuales se encargan de generar la respuesta humoral y celular. La respuesta no es inmediata, requiere de algunos días para poder ponerse de manifiesto e incluye la producción de anticuerpos y la activación de linfocitos sensibilizados (Rojas- Espinosa, 2006).

Una vez que se genere la inmunidad específica, el organismo queda capacitado para reconocer y neutralizar o destruir a los agentes extraños o células transformantes. Todo este proceso es sumamente específico y ocurre a través de los linfocitos T sensibilizados y de los anticuerpos generados por los linfocitos B (Rojas- Espinosa, 2006), pudiendo producir cualquiera de las dos respuestas, la Inmunidad Celular o la Inmunidad Humoral.

9.3.1 RESPUESTA INMUNITARIA CELULAR

Forma de inmunidad donde no participan anticuerpos, está relacionada con el rechazo primario de trasplantes, detección y destrucción de células transformantes y con la eliminación de microorganismos intracelulares, en este tipo de ¡inmunidad participan principalmente dos tipos de Linfocitos T CD4+ y CD8+, también participan Natural Killer y macrófagos activados por Células T.

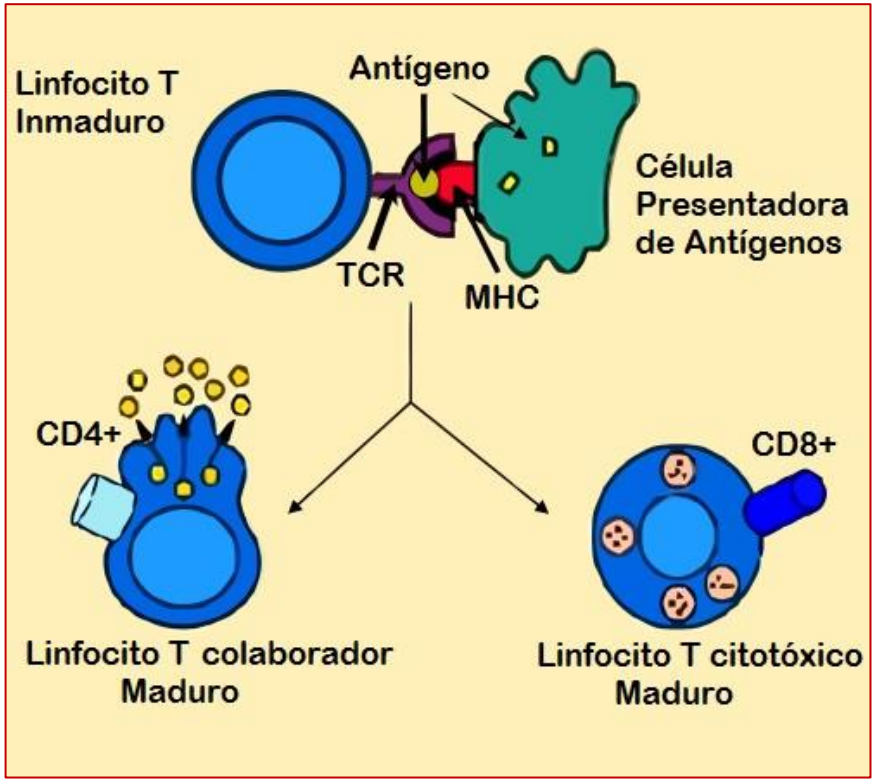
Linfocitos T: Son linfocitos que nacen en la médula ósea roja y de ahí viaja por la linfa hasta el Timo donde se produce su proceso de maduración, se dividen en dos tipos, responsables de sendas modalidades de respuesta inmunitaria celular.

Linfocitos T auxiliares (CD4+): Reconocen mediante sus TCR, fragmentos antigénicos presentados por proteínas MHC de clase ll ancladas en la superficie de células presentadoras de antígenos. La interacción entre ambos tipos celulares desencadena en los linfocitos T auxiliares una respuesta que induce la liberación de citoquinas, que estimulan la proliferación de los propios linfocitos, así como la actividad de las células presentadoras. En unos casos, los fragmentos antigénicos son presentados por un macrófago y proceden de la digestión parcial de microorganismos invasores fagocitados por este último.

Linfocitos T citotóxicos (CD8+): Reconocen mediante sus TCR, fragmentos antigénicos presentados por proteínas MHC de clase | ancladas en la superficie de células infectadas por virus o que se han malignizado. El reconocimiento del antígeno desencadena en el linfocito T una doble respuesta: por una parte, el linfocito secreta unas citoquinas, denominadas interleucinas, que inducen la proliferación de linfocitos T con la misma especificidad antigénica; por otra, el linfocito mata a la célula infectada inyectándole enzimas citotóxicas como las fragmentinas, que desencadenan en la célula infectada los mecanismos muerte celular programada (apoptosis), así como la

activación del receptor FAS, y las perforinas, que abren poros en la membrana plasmática induciendo la lisis celular por fenómenos osmóticos.

Fig. 9.7. Linfocitos



NOTA: Diferencia entre Linfocitos T CD4+ y CD8+, tomado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Antigen_presentation-es.png

Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC): Son antígenos leucocitarios humanos (HLA), responsables de rechazar tejidos trasplantados y detectar elementos extraños, el MHC inducen la respuesta inmune específica mediante la presentación del antígeno al linfocito T. Desempeña un papel importantísimo en el sistema inmunitario ya que une los péptidos antigénicos procesados intracelularmente y presenta este material sobre la superficie celular siendo responsables de la Presentación de Antígenos (Turnpenny, 2018).

9.3.2 RESPUESTA INMUNITARIA HUMORAL

Esta forma de inmunidad representa el mecanismo más importante contra los microorganismos extracelulares y sus toxinas, ya que presenta como componentes principales a los anticuerpos o inmunoglobulinas, que constituyen la base de la respuesta inmunitaria, siendo los linfocitos B quienes los producen y secretan. Los linfocitos B son células que en los mamíferos maduran en la propia médula ósea (la “B” es la inicial de bone, hueso en inglés).,. Hay dos tipos principales de inmunoglobulinas: las inmunoglobulinas de membrana (mlg) y las inmunoglobulinas circulantes, también llamadas anticuerpos, que

son los auténticos efectores de la respuesta inmunitaria humoral (Abbas, 2020).

En el momento que un antígeno hace contacto con los complejos receptores se desencadena una reacción intracelular que da lugar a la síntesis de numerosas moléculas de anticuerpos específicos los que son secretados hacia el medio interno, donde pueden ejercer su acción ‘sobre las moléculas del antígeno, pero las inmunoglobulinas no son las únicas moléculas que actúan también participan algunas interleucina, moléculas producidas por macrófagos y linfocitos T que envían señales entre los linfocitos para responder ante un antígeno (Ibáñez, 2010).

9.3.2.1 Inmunoglobulinas

Las inmunoglobulinas o también llamados anticuerpos son un tipo de proteínas que se encuentran en el suero sanguíneo, cuya función es reconocer antígenos que posee una actividad efectora importantísima (Turnpenny, 2018). Las inmunoglobulinas son proteínas oligoméricas formadas por cuatro cadenas polipeptídicas; de ellas, dos son “cadenas pesadas” (H), con un peso molecular de unos 50.000 daltons, y las otras dos son “cadenas ligeras” (L), con un peso molecular de unos 25.000 daltons. Cada cadena ligera está unida a una cadena pesada por un puente disulfuro, mientras que las dos cadenas pesadas están unidas entre sí por dos puentes disulfuro. Las cuatro cadenas se encuentran plegadas en una conformación tridimensional característica de las inmunoglobulinas que presenta forma de “Y”. Los brazos cortos de la “Y” están constituidos por las cadenas ligeras y por la porción amino terminal de las cadenas pesadas, se pueden escindir enzimáticamente de la molécula dando lugar a dos fragmentos que, por su capacidad de unirse a antígenos, se denominan fragmentos Fab (del inglés antigen-binding). El brazo largo de la “Y” está constituido por las porciones carboxi-terminales de las cadenas pesadas, también se puede separar enzimáticamente del resto de la molécula y, debido a que cristaliza con facilidad, se denomina fragmento Fc. La zona de unión de los tres fragmentos se conoce como región bisagra.

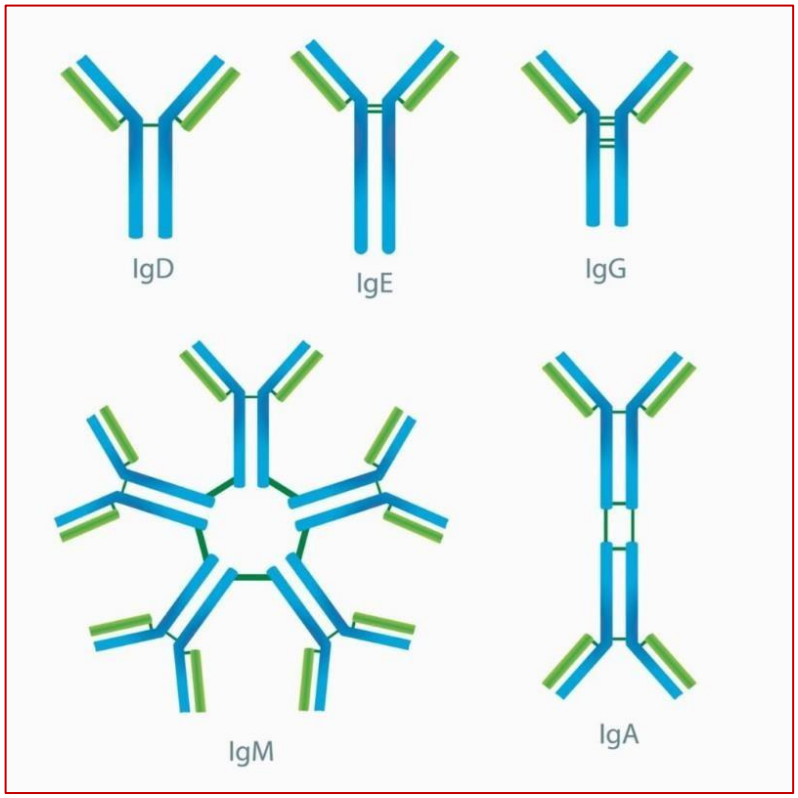
Tanto en las cadenas pesadas como en las ligeras se distinguen dos regiones: la que corresponde a las dos terceras partes de las cadenas pesadas y una parte de las cadenas ligeras, llamada región constante, donde se localiza el extremo carboxi- terminal y presenta poca variabilidad y la otra próxima al extremo amino-terminal, denominada región variable, porque esta porción si va

diferir en cada inmunoglobulina ya que es la región donde se debe acoplar un especifico y único antígeno.

Las regiones constantes de las cadenas pesadas presentes en humanos poseen cinco tipos principales de secuencias que determinan los cinco tipos principales de inmunoglobulinas denominados isotipos:

- **Inmunoglobulina G (IgG):** Son las más abundantes localizadas en la sangre y líquidos intersticiales, están conformando un 80% de las inmunoglobulinas totales. Son capaces de atravesar la barrera placentaria y proteger al feto. Son responsables de la memoria inmunitaria.
- **Inmunoglobulina A (IgA):** Representan un 5-10% de las inmunoglobulinas totales. Puede aparecer como moléculas individuales o formando dímeros unidos por puentes disulfuro. Son típicas de las secreciones (saliva, lágrimas, mucus respiratorio) por lo que participan en la defensa de los epitelios mucosos. También están presentes en la leche materna y en el calostro, contribuyendo así a la protección del lactante frente a las infecciones.
- **Inmunoglobulina M (IgM):** Representan un 10-15% de las inmunoglobulinas totales. Tienen la forma de pentámeros con las regiones variables hacia el exterior. Debido a su gran tamaño no pueden extravarse por lo que las encontraremos siempre en el suero sanguíneo. Son las primeras en aparecer ante la presencia de un antígeno, aunque desaparecen muy rápido.
- **Inmunoglobulina D (IgD):** Aparece como un componente de la membrana de los linfocitos junto con la inmunoglobulina de membrana lgM ayudando a activar a los linfocitos B. En plasma se encuentra en baja concentración.
- **Inmunoglobulina E (IgE):** Se encuentran en el suero sanguíneo en cantidades muy pequeñas. Son las responsables de los fenómenos de hipersensibilidad (alergias). Su papel reside en su eficacia frente a patógenos grandes como los helmintos (Tenia, Trichinella y otros).

Fig. 9.8. Anticuerpos



NOTA: Representación de las Inmunoglobulinas, tomado de https://cdn.gentaur.es/wp- content/uploads/2022/10/Estructura-de-las-inmunoglobulinas-1024x1024.jpg

9.3.3 REACCIÓN ANTÍGENO - ANTICUERPO

La interacción antígeno-anticuerpo se produce entre un ligando específico y su proteína correspondiente; se trata de una interacción no covalente, reversible y basada en interacciones débiles del tipo de los puentes de hidrógeno, interacciones iónicas o hidrofóbicas y fuerzas de Van der Waals. La especificidad de la interacción se debe a la complementariedad estructural entre los epítopos del antígeno y las regiones variables del anticuerpo. Las interacciones entre antígenos y anticuerpos dan lugar a complejos estables antígeno-anticuerpo. Cada molécula de inmunoglobulina tiene dos lugares de unión al antígeno. Cuando estas moléculas forman dímeros o pentámeros como en la IgA e IgM el número de lugares de unión por complejo aumenta.

En el caso de los antígenos solubles, la formación del complejo antígeno-anticuerpo tiene las siguientes consecuencias:

- **Neutralización:** La unión con el anticuerpo inhabilita al antígeno para ejercer el efecto tóxico que pudiera tener: Algunas toxinas bacterianas no pueden unirse a sus receptores en la superficie celular cuando están unidas a su anticuerpo específico. Muchos virus, aunque son complejos

supramoleculares también pueden resultar neutralizados del mismo modo por anticuerpos específicos.

- **Precipitación:** La formación de grandes entramados antígeno- anticuerpo impide a ambas moléculas permanecer en disolución, dando lugar a un precipitado. Esto, permite a los PMNs y macrófagos fagocitar la unión antígeno-anticuerpo. De esta forma podemos decir que, el mecanismo de defensa específico de la respuesta humoral interactúa con el mecanismo de defensa inespecífico de las células fagocitarias, que complementa la acción del primero.
- **Opsonización:** Se da cuando el antígeno de superficie de un microorganismo es reconocido por los anticuerpos quedando expuestos a los fragmentos Fc de las inmunoglobulinas, los que actuarán como señales que las células fagocitarias reconocen y utilizan para mejorar su eficacia de ataque.

9.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA RESPUESTA INMUNE

La respuesta inmune es un conjunto de procesos que se desencadenan cuando un agente invasor es detectado por el sistema inmunitario se conocen con el nombre de respuesta inmunitaria. La respuesta inmunitaria exhibe cuatro propiedades que la caracterizan:

a) **Especificidad:** El sistema inmunitario es capaz de generar una única respuesta (específica) para cada agente invasor (Antígeno).

b) **Memoria:** La respuesta que se elabora y produce para un determinado agente invasor, queda guardada por el sistema inmune de manera que la siguiente vez que nos ataque el mismo agente invasor la respuesta será más intensa y eficaz.

c) **Tolerancia:** El sistema inmunitario aprende a no generar ninguna respuesta frente a antígenos del propio organismo., a esto se le conoce como tolerancia, la cual se va generando desde las primeras semanas del desarrollo embrionario. Los errores en este mecanismo dan lugar a enfermedades autoinmunes, que suelen tener consecuencias graves.

d) **Clonalidad:** Los linfocitos activados proliferan y originan gran cantidad de linfocitos clónicos (idénticos genéticamente) que llevarán, por tanto, los mismos receptores**.**

La respuesta se puede ser, de dos tipos, respuesta inmunitaria-humoral. Y respuesta inmunitaria celular, que analizaremos a continuación:

a) Respuesta Inmune primaria y secundaria

Se entiende por respuesta inmune el proceso de fabricación de anticuerpos a instancias de antígenos que penetran en la circulación sanguínea de animales vertebrados. Se distinguen dos tipos de respuesta:

- **Respuesta primaria:** se produce ante el primer contacto con un antígeno, en este caso se puede apreciar en la sangre la aparición de anticuerpos específicos cuyo número va aumentando exponencialmente hasta una fase estacionaria partir de la cual comienza a declinar. Los antígenos formados son del tipo de las lg M. Hay un retraso entre la entrada de antígeno y la detección de anticuerpos en la sangre, que va de 3 a 15 días. Al cabo de 4 a 8 semanas los anticuerpos ya empiezan a ser imperceptibles en la sangre.
- **Respuesta secundaria:** se trata de la respuesta que se produce ante un segundo contacto con el antígeno. Las inmunoglobulinas producidas son lg G, el retraso es mucho más corto y la producción de anticuerpos es mucho más rápida y alcanza valores mucho más altos. Las células inmunológicas tienen memoria ya que pueden mantener durante años la capacidad de producir una respuesta secundaria**.**

b) Inmunidad Natural

Es el conjunto de procesos que previenen a los individuos sanos de la infección por los agentes patógenos, es decir, se atribuye a anticuerpos presentes o que aparecen sin estimulo externo aparente. La inmunidad frente a un determinado microorganismo patógeno puede ser pasiva y activa.

- **Inmunidad Natural Activa:** Es la que se presenta normalmente por acción del mismo sistema inmune y se manifiesta en la formación natural de los anticuerpos por parte de los linfocitos B activos (Células Plasmáticas), que se dan después que estas se enfrentaron a un antígeno.
- **Inmunidad Natural Pasiva:** Se da por acción de anticuerpos fabricados en forma natural frente a una infección en el organismo de nuestras madres y estos son pasados en forma natural a través de la placenta, como es el caso de las

lg G o a través de la leche y/o el calostro de nuestra madre como es el caso de la lg A. Sólo dura un corto tiempo, necesario para que el bebé empiece a activar su inmunidad adaptativa.

c) Inmunidad Artificial: Sueros y Vacunas

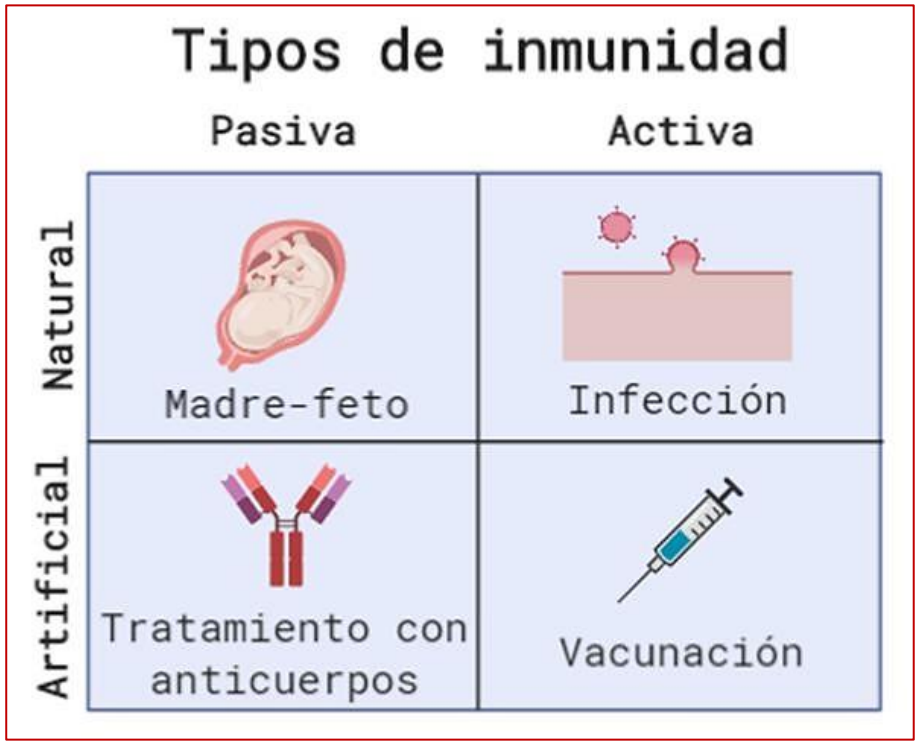
Se refiere a la activación de una serie de mecanismos de defensas a partir de la aplicación de antígenos o anticuerpos. Podemos distinguir entre dos formas de inmunidad artificial:

- **Inmunidad Artificial Pasiva**: Inducida por la transferencia de anticuerpos a través de sueros, se utiliza en presencia de una enfermedad. Un suero es un preparado artificial que contiene anticuerpos contra un antígeno que se desea combatir. Estos anticuerpos han sido sintetizados por un organismo diferente del receptor previamente inoculado con dicho antígeno. Hace algunos años atrás, el uso de animales para poder obtener sueros, era una práctica común, pero con el avance de la biotecnología, se emplean cultivos de células humanas, las que producen inmunoglobulinas mucho más parecidas a las del organismo receptor.
- **Inmunidad Artificial Activa:** Se consigue mediante la aplicación de una vacuna, que contiene gérmenes muertos o atenuados, incapaces de desarrollar la enfermedad, pero que son portadores de los antígenos específicos. La vacuna es capaz de producir en el organismo receptor una respuesta inmunitaria primaria con producción de células de memoria, de tal manera que, si algún tiempo después, el agente infeccioso ingresa de forma natural a nuestro organismo, se desencadena directamente una respuesta secundaria que la neutraliza con mucha más eficacia que en el caso de ausencia de vacuna. Así pues, la vacunación consigue emular el proceso natural que confiere inmunidad adquirida sin los inconvenientes que supone el padecer una primera infección y la consiguiente reacción patológica.

  Las vacunas pueden obtenerse a partir de microorganismos vivos atenuados, es decir, a los que se les ha reducido artificialmente su virulencia. Estas vacunas son muy eficaces, pero conllevan cierto peligro de infección patológica, sobre todo en individuos con alguna inmunodeficiencia. Otra forma de obtener vacunas es a partir de microorganismos muertos o de fragmentos de microorganismos con capacidad antigénica, Estas vacunas

tienen menor capacidad inmunogénica, lo que son menos eficaces y requieren administrar dosis de refuerzo; sin embargo, resultan más seguras, ya que no pueden dar lugar a infección patológica.

Fig:9.9. Tipos de Inmunidad



NOTA: Tipos de inmunidad, tomado de *https://pbs.twimg.com/media/EWol1GPWoAc5VAS.png*

9.4 ENFERMEDADES

9.4.1 ENFERMEDADES INFECCIOSAS

Son manifestaciones clínicas producidas por la acción de organismos patógenos como bacterias, virus, parásitos, hongos, etc. En términos históricos, las enfermedades infecciosas han constituido una amenaza muy grave para la sociedad; debido a que se caracterizan por ser de fácil y rápida transmisión; esto sumado a los cambios ambientales actuales, han propiciado cambios en las distribuciones geográficas de organismos en general y de parásitos en particular; desencadenando epidemias a lo largo de la historia de la humanidad. La resistencia a los agentes antimicrobianos también se ha convertido en otro grave problema mundial (Montesinos-López & Hernández-Suárez, 2007).

9.4.2 AGENTES INFECCIOSOS

Son aquellas entidades biológicas que invaden a un anfitrión, naturalmente nuestras barreras inmunológicas nos protegen de estos organismos, sin embargo, cuando logran evadirlas, estos serán capaces de multiplicarse dentro del organismo infectado, además pueden producir toxinas en su huésped (humano,

animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto (Chabalgoity et al., 2006). Son muy variados y pueden producir distintas enfermedades:

Fig. 9.10. Triada epidemiológica

Fuente: tomado de: *https://www.ecologiaverde.com/triada-ecologica-definicion-elementos-y-ejemplos-2607.html*

a) **Bacteria:** Microorganismos vivos que producen infecciones por diversos mecanismos, dentro de los cuales podemos destacar la producción de sustancias químicas llamadas toxinas, que ocasionan enfermedades comunes o peligrosas. Uno de los mayores tratamientos para estas son los fármacos; sin embargo, una amenaza creciente deteriora la eficacia de estos; es la resistencia bacteriana a los antibióticos, que se define como la capacidad de una bacteria para sobrevivir en concentraciones de antibióticos que inhiben o matan a otras de la misma especie (Alos, 2015). Como tos ferina, tuberculosis, gonorrea o blenorragia, sífilis, botulismo, etc.

b) **Hongos:** Son muy poca las especies de hongos que pueden parasitar al ser humano, sin embargo, cuando logran evadir sus barreras, producen infecciones en piel, uñas, cabello e incluso en el sistema respiratorio. Uno de los peores escenarios para una infección fúngica es el caso de personas inmunodeprimidas (Gómez Daza, 2015). Ejemplo: tiña, pie de atleta, etc.

c) **Protozoos:** Organismos con gran capacidad infectiva por medio de los alimentos o la comida, la tendencia de comer carne poco conocida facilita su propagación (Chacin-Bonilla,2013) Ejemplo: Amebiasis, malaria o el paludismo, giardiasis, etc.

d) **Endoparásitos:** Son parásitos que se desarrollan en el interior del huésped, ejemplo: helmintos, triquina, etc

e) **Ectoparásitos:** Son parásitos que se desarrollan en el exterior del huésped como piojos, pulgas, ladillas, *Sarcoptes scabie* (causante de la sarna), etc.

f) **Virus:** Los virus se pueden definir como complejos informacionales macromoleculares que contienen un ácido nucleico: ADN o ARN: denominado nucleoide, protegido por una cubierta proteica denominada cápside; por otro lado, algunas familias poseen una cubierta lipoproteica denominada envoltura. Son parásitos intracelulares obligadas (Carballal & Oubiña, 2014). Enfermedades ocasionadas por virus: Herpes, hepatitis, SIDA, gripe, rabia, sarampión, rubéola, COVID-19, etc.

9.5 TIPOS DE ENFERMEDADES

9.5.1 ENFERMEDADES AUTOINMUNES

Las enfermedades autoinmunes son aquellas en las que está relacionada la perdida de la tolerancia frente a antígenos propios, generándose la formación de autoanticuerpos, así como la formación de linfocitos T autorreactivos, que son capaces de generar una reacción inmunológica de ataque a nuestras propias células (Carbone 2017). Existen diferentes tipos de enfermedades autoinmunes dentro de ellas mencionaremos a:

a) Artritis Reumatoidea:

Esta enfermedad crónica degenerativa, que se genera por un ataque por parte nuestro sistema inmune a las articulaciones, generando una inflamación a nivel de la membrana sinovial, que recubre la parte interna de la capsula articular, con el tiempo esta articulación se deforma producto de la inflamación inhabilitando la misma, pero también puede generar dolor en todo el cuerpo, dentro de los síntomas están el dolor crónico, rigidez, sensibilidad, calor e inflamación de la articulación (Laborda, 2021).

b) Lupus Eritematoso Sistémico:

Es un trastorno autoinmunitario multisistémico que afecta al tejido conjuntivo, se presenta principalmente en mujeres, puede afectar las articulaciones, la piel, los riñones, las células sanguíneas, el cerebro, el corazón y los pulmones. Por lo general, se presenta fatiga, dolor de las articulaciones, sarpullido y fiebre, se pueden dar en episodios de brotes periódicos seguidos de una mejoría (Jiménez, 2021).

c) Esclerosis Múltiple:

Es una enfermedad crónica inflamatoria, que se produce cuando el sistema inmune ataca la cubierta protectora (vaina de mielina) de las células nerviosas del encéfalo y la médula espinal, hecho que no solo puede dañar seriamente a estas neuronas sino también conducirlas a la muerte. Dentro de los síntomas más comunes están, perdida de la visión, alteraciones motoras, pérdida de coordinación muscular o ataxia, disfunción o alteraciones sensoriales, rigidez muscular, fatiga, disfunción urinaria, disfunción sexual y alteraciones gastrointestinales (Mestre, 2021).

9.5.2 ENFERMEDADES TUMORALES

Son alteraciones de los tejidos que producen un crecimiento anormal de células que pueden o no ser malignos. Las masas benignas pueden crecer mucho pero no se diseminan ni invaden tejidos aledaños ni viajen a otros lugares del cuerpo, por otro lado, las masas malignas sí se diseminan a otras partes del organismo por medio de la sangre y la circulación linfática e invaden tejidos próximos, por tal motivo se les denomina tumores malignos o cáncer. Podemos clasificar a los tipos de cáncer, según el tipo de tejido del cual proceden, en seis categorías principales (Armitage, 2022):

a) Carcinomas:

Se presenta en células epiteliales, tanto de la piel como de mucosas. Representa el tipo más común. Aquí encontramos a los adenocarcinomas, que se presentan en la superficie de órganos secretores, como es el caso de mama, pulmón, páncreas, próstata, colón, etc. Si por el contrario el cáncer afecta la superficie de órganos hueco y la piel lo denominamos carcinoma epidermoide o de células escamosas, como es el caso de cuello uterino, vejiga, cabeza, cuello piel, vagina, etc.

b) Sarcomas

Es un tipo de cáncer propio del tejido conectivo, muy común en jóvenes, si se forma en huesos se llama osteosarcoma, pero por lo general se forma en tejido blando como músculo, cartílago, tejido adiposo o graso, sanguíneo, linfático, tejido fibroso como tendones y ligamentos.

c) Gliomas

Este tipo de tumores se generan en el sistema nervioso central, cerebro o médula espinal, específicamente en las células gliales,

de estas, los astrocitos representan dos tercios de todos los tumores gliales.

d) Leucemias

Este tipo de cáncer se forman las células que originan el tejido sanguíneo en la médula ósea roja, afectando principalmente la estirpe mieloide (granulocitos, monocitos y mastocitos). La médula genera una mayor cantidad de glóbulos blancos inmaduros los cuales no pueden cumplir con la función inmunológica propiamente dicha y entonces la persona enferma.

e) Mielomas Múltiples

Se origina en las células plasmáticas (responsables de la formación de anticuerpos), estas células cuando se transforman hacen que el plasma se vuelva más espeso, y de esta manera la médula no puede generar más células sanguíneas.

f) Teratomas

Es un tipo de tumor de origen embrionario, va a estar conformado por diferentes tipos de células y se localizan en diversos lugares del cuerpo, al estar conformados por células germinales poseen 3 capas germinales del embrión y estos pueden estar en un grado de desarrollo por lo cual, puede presentar dientes, pelos, huesos, cartílagos, etc. por lo cual se le llama tumor monstruo (Damjanow, 1989).

9.5.3 ENFERMEDADES METABÓLICAS

Las enfermedades metabólicas son un conjunto de enfermedades relacionados con alteraciones en el metabolismo como lo son:

a) Diabetes

La diabetes mellitus es una enfermedad metabólica caracterizada por el aumento de los niveles de glucosa en la sangre. Su nombre proviene del hecho de que los pacientes diabéticos no tratados eliminan la glucosa a través de la orina, produciendo una orina dulce como miel (mellitus).

La diabetes mellitus se puede clasificar en dos tipos principales: la diabetes tipo 1 (DM1) y la diabetes tipo 2(DM2). Existen otras formas de diabetes menos comunes. Es el caso de la diabetes gestacional, que se desarrolla durante el embarazo.

Los síntomas característicos en especial en la diabetes tipo 1, son sed intensa (polidipsia), aumento en orina eliminada (poliuria), aumento en el apetito (polifagia) y pérdida de peso. Los pacientes se sienten agotados y son más propensos a las infecciones. Realizar un cambio en los estilos de vida sobre todo en la alimentación y el ejercicio, así como, controlar los niveles

de glucosa en la sangre, permite retrasar y evitar complicaciones y mantener una calidad de vida normal.

La diabetes tipo 1 suele empezar en la juventud (generalmente antes de los 30 años) y causa alteraciones importantes. En la diabetes tipo 1 se destruyen las células del páncreas que son responsables de la formación y liberación de la hormona insulina. La insulina cumple un rol importante, ya que toma la glucosa proveniente de la dieta y permite su absorción por parte de las células del cuerpo. Si la cantidad de insulina no es suficiente o esta no funciona adecuadamente, la glucosa se acumula en la sangre y aumenta el nivel (glucemia), provocando complicaciones a corto y largo plazo.

En cambio, la diabetes tipo 2 afecta, sobre todo, a personas mayores por lo que antes solía denominarse diabetes senil, hoy en día, este término no es del todo correcto, cada vez más personas jóvenes presentan esta patología (generalmente mayores de 30 años). En la diabetes tipo 2 el páncreas es capaz de producir y liberar insulina. Sin embargo, las células del cuerpo, que necesitan insulina para captar el azúcar de la sangre, tienen menos sensibilidad a la insulina, por lo que, al no ser utilizada, se eleva el nivel de glucosa en la sangre. La diabetes tipo 2 puede mantenerse asintomática durante mucho tiempo y pasar inadvertida hasta que aparecen los efectos tardíos.

En el caso de los pacientes con diabetes tipo 1, es necesaria la administración de insulina de forma regular para compensar la falta de esta hormona. En cambio, las personas con diabetes tipo 2 pueden mejorar mucho la evolución de su enfermedad si cambian su estilo de vida. Practicando ejercicio con regularidad, manteniendo un peso normal y siguiendo una alimentación equilibrada, los pacientes pueden mejorar el nivel de glucosa en la sangre.

b) Síndrome de Cushing (Hipercortisolismo)

El síndrome de Cushing (hipercortisolismo), es un tipo de enfermedad metabólica que se presenta porque el organismo produce por un exceso de la hormona cortisol (hidrocortisona) generada por la glándula suprarrenal. Los síntomas característicos son un rostro redondo y enrojecido (cara de luna), el aumento de peso con obesidad de distribución central, así como valores de presión sanguínea altos

El cortisol es un glucocorticoide que influyen, entre otros, en el metabolismo, el sistema cardiovascular y el sistema nervioso.

Esta patología puede tener diversas causas: por ejemplo; hipercortisolismo se presenta porque la glándula suprarrenal genera demasiada hidrocortisona por diferentes causas o porque se suministran al cuerpo constantemente glucocorticoides (por ejemplo, cortisona) dentro de un tratamiento de larga duración. Dependiendo del origen se diferencia entre una forma exógena (causada desde el exterior) y otra endógena (causada desde el interior) de síndrome de Cushing:

Síndrome de Cushing exógeno: esta forma común de hipercortisolismo, se presenta cuando se ha realizado un tratamiento largo con glucocorticoides o con la hormona ACTH (hormona adenocorticotropa) que estimula la liberación de glucocorticoides.

Síndrome de Cushing endógeno: la causa de esta forma más bien rara de hipercortisolismo suele hallarse, casi siempre, en tumores situados en la glándula suprarrenal, en la hipófisis del cerebro o en los bronquios.

Además de obesidad central y un rostro redondo (la denominada cara de luna llena o facies lunata), provocados sobre todo a un tratamiento con cortisona, así como una presión sanguínea alta, el síndrome de Cushing puede provocar otros síntomas, como, por ejemplo:

- Cuello de búfalo.
- Exceso de vello en mujeres (sobre todo en la barbilla, labio superior, pecho y muslos).
- Pérdida de apetito sexual, problemas de impotencia en los hombres.
- Alteraciones de crecimiento en niños.
- Alteraciones cutáneas (por ejemplo, en forma de estrías), deficiente curación de heridas, acné.
- Alteraciones psíquicas.

9.6 DESARROLLO SOSTENIBLE

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, llevó a cabo una consulta mundial sobre el papel de los recursos naturales en el desarrollo. De esta consulta surgió una obra titulada “Nuestro futuro común”, publicada en 1987, en la que se acuñó el término desarrollo sostenible (también conocido como desarrollo sustentable) como un modelo de crecimiento

que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras.

El desarrollo sostenible consiste en un mejoramiento de las condiciones de vida de las sociedades humanas actuales que permite satisfacer sus necesidades, sin que esto represente una merma de los recursos naturales de los cuales dependerá el bienestar futuro de la humanidad.

Dentro de sus metas y objetivos está el acabar con la pobreza actual, de forma, que en la actualidad se trabaje mejorando las condiciones económicas de las comunidades en extrema pobreza y mantengan una calidad de vida adecuada. Debemos tener en cuenta el impacto y profundidad que representa para el planeta la idea de llegar a cumplir los objetivos propuestos.

Para poder llevar a cabo este proyecto, se está concientizando a las generaciones presentes para que se sientan comprometidos y sentir solidaridad con las generaciones futuras, aunque no estén presentes en el planeta. Teniéndose como condición básica y fundamental la conservación de los recursos naturales, evitando su despilfarro y deterioro. Pero para hacer esto posible, se requiere necesariamente que cambien las formas actuales de extracción, producción y consumo de recursos naturales por parte de la sociedad (Carabias, 2009).

9.6.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS):

Los 17 objetivos de desarrollo sostenible y 169 metas propuestos por el Grupo de Trabajo Abierto de la Asamblea General sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible constituirán el núcleo de la agenda para el desarrollo después de 2015.

Se debe tener en cuenta que estos objetivos y metas; poseen el potencial para transformar la sociedad y movilizar a personas y países, integrando los asuntos pendientes de los Objetivos de Desarrollo del Milenio que van más allá al abordar la desigualdad, los nuevos desafíos y cuestiones estructurales como el cambio climático, el crecimiento económico sostenible, la capacidad productiva, la paz y la seguridad, y unas instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles; adoptan un enfoque dinámico para lograr la igualdad de género; reflejan de forma equilibrada las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo sostenible.

También se indican medios de implementación en cada uno de los objetivos y en un objetivo específico sobre la alianza mundial,

que aglutinará a los gobiernos, la sociedad civil y otras instancias en un enfoque verdaderamente integrado del desarrollo internacional en favor de las personas y el planeta (ONU, 2015).

Fig. 9.11. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Nota: La figura representa los objetivos del desarrollo sostenible –ONU. Tomada de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Según la ONU (2021), los 17 objetivos del desarrollo sostenible son los siguientes:

1. **Fin de la pobreza:** Uno de los principales desafíos que se presentan hoy en día es el erradicar la siendo que enfrenta la humanidad. Desde 1990 hasta el 2015 se ha visto una importante disminución (más de la mitad) en la cantidad de personas que viven en la extrema pobreza, pero pese a estos avances, aún demasiadas personas siguen luchando por satisfacer las necesidades más básicas
2. **Hambre cero:** Debido al rápido crecimiento económico y al aumento de la productividad agrícola en las últimas dos décadas, el número de personas desnutridas disminuyó casi a la mitad. Muchas comunidades de países en vías de desarrollo que sufrían de malnutrición y hambre, están ahora en condiciones de satisfacer las necesidades nutricionales de los más vulnerables. Regiones como Asia Central y Oriental y América Latina y el Caribe han avanzado enormemente en la erradicación del hambre.
3. **Salud y bienestar:** La buena salud es esencial para el desarrollo sostenible, y la Agenda 2030 refleja la complejidad y la interconexión de ambos. Toma en cuenta la ampliación de las desigualdades económicas y sociales, la rápida urbanización, las amenazas para el clima y el medio

ambiente, la lucha continua contra el VIH y otras enfermedades infecciosas, y los nuevos problemas de salud, como las enfermedades no transmisibles. La cobertura universal de salud será integral para lograr el ODS 3, terminar con la pobreza y reducir las desigualdades. Las prioridades de salud global emergentes que no se incluyen explícitamente en los ODS, incluida la resistencia a los antimicrobianos, también demandan acción.

4. **Educación de calidad:** El objetivo de lograr una educación inclusiva y de calidad para todos se basa en la firme convicción de que la educación es uno de los motores más poderosos y probados para garantizar el desarrollo sostenible. Con este fin, el objetivo busca asegurar que todas las niñas y niños completen su educación primaria y secundaria gratuita para 2030. También aspira a proporcionar acceso igualitario a formación técnica asequible y eliminar las disparidades de género e ingresos, además de lograr el acceso universal a educación superior de calidad.
5. **Igualdad de género**: Poner fin a todas las formas de discriminación contra las mujeres y niñas no es solo un derecho humano básico, sino que además es crucial para el desarrollo sostenible. Se ha demostrado una y otra vez que empoderar a las mujeres y niñas tiene un efecto multiplicador y ayuda a promover el crecimiento económico y el desarrollo a nivel mundial.
6. **Agua limpia y saneamiento:** Con el fin de garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos en 2030, es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene. Asegurar el agua potable segura y asequible universal implica llegar a más de 800 millones de personas que carecen de servicios básicos y mejorar la accesibilidad y seguridad de los servicios por más de dos mil millones.
7. **Energía asequible y no contaminante:** Para alcanzar el ODS7 para 2030, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal y mejorar la productividad energética. Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medio ambiente.

8. **Trabajo decente y crecimiento económico:** Los Objetivos de Desarrollo Sostenible apuntan a estimular el crecimiento económico sostenible mediante el aumento de los niveles de productividad y la innovación tecnológica. Este objetivo persigue lograr la creación de empleos plenos y productivos, para que tanto hombres como mujeres logren un trabajo decente. Para lograr esto, esperan estimular el espíritu empresarial y la creación de empleo, así como también las medidas eficaces para erradicar el trabajo forzado, la esclavitud y el tráfico humano. Con estas metas en consideración, el objetivo es lograr empleo pleno y productivo y un trabajo decente para todos los hombres y mujeres para 2030.
9. **Industria, innovación e infraestructura:** La inversión en infraestructura y la innovación son motores fundamentales del crecimiento y el desarrollo económico. Un problema saltante para el cumplimiento de este objetivo, ya que cada vez aumenta la población en las ciudades, es proponer formas de transporte masivo sostenibles y el empleo de energías limpias, así como también el crecimiento de nuevas industrias y de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Los avances tecnológicos también son esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales, al igual que la oferta de nuevos empleos y la promoción de la eficiencia energética. Otras formas importantes para facilitar el desarrollo sostenible son la promoción de industrias sostenibles y la inversión en investigación e innovación científicas.
10. **Reducción de las desigualdades:** La desigualad de ingresos es un problema mundial que requiere soluciones globales. Estas incluyen mejorar la regulación y el control de los mercados y las instituciones financieras y fomentar la asistencia para el desarrollo y la inversión extranjera directa para las regiones que más lo necesiten. Otro factor clave para salvar esta distancia es facilitar la migración y la movilidad segura de las personas.
11. **Ciudades y comunidades sostenibles:** Este objetivo implica, mejorar la seguridad en las calles, que la comunidad o ciudad sea sostenible, garantizando el acceso a viviendas seguras y asequibles y el mejoramiento de los asentamientos marginales. También incluye proporcionar un transporte público adecuado y ecoamigable, crear áreas públicas

verdes y mejorar la planificación y gestión urbana de manera que sea participativa e inclusiva.

12. **Producción y consumo responsables:** Para lograr crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos. Una creciente preocupación es el hecho que nos estamos quedando sin agua dulce y teniendo en cuenta que la agricultura es el principal consumidor de agua en el mundo representando un 70% de toda el agua dulce disponible. También es importante instar a las industrias, los negocios y los consumidores a reciclar y reducir los desechos ya que el apropiado manejo de los residuos lograra mejorar el ambiente y disminuir la contaminación, como asimismo apoyar a los países en desarrollo a avanzar hacia patrones sostenibles de consumo para 2030.
13. **Acción por el clima:** Apoyar a las regiones más vulnerables contribuirá directamente no solo al Objetivo 13 sino también a otros Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para esto se deben proponer políticas y estrategias nacionales para poder minimizar los riesgos de desastres, proporcionando una gran variedad de nuevas propuestas tecnológicas, como, por ejemplo, para limitar el aumento de la temperatura media global a dos grados Celsius por encima de los niveles preindustriales, apuntando a 1,5°C, mediante la arborización de las ciudades y el retiro y control de la fabricas. Para lograrlo, se requieren acciones colectivas urgentes.
14. **Vida Submarina:** El propósito ordenar y proteger de manera sostenible los ecosistemas marinos y costeros, evitando la contaminación terrestre, así como crear políticas para abordar los impactos de la acidificación de los océanos. Mejorar la conservación y el uso sostenible de los recursos oceánicos a través del derecho internacional también ayudará a mitigar algunos de los retos que enfrentan los océanos
15. **Vida de ecosistemas terrestres:** Se deben tomar medidas urgentes para reducir la pérdida de hábitats naturales y biodiversidad que forman parte de nuestro patrimonio común y apoyar la seguridad alimentaria y del agua a nivel mundial, la mitigación y adaptación al cambio climático, y la paz y la seguridad.

16. **Paz, Justicia e Instituciones Sólidas:** Los Objetivos de Desarrollo Sostenible buscan reducir sustancialmente todas las formas de violencia y trabajan con los gobiernos y las comunidades para encontrar soluciones duraderas a los conflictos e inseguridad. El fortalecimiento del Estado de derecho y la promoción de los derechos humanos es fundamental en este proceso, así como la reducción del flujo de armas ilícitas y la consolidación de la participación de los países en desarrollo en las instituciones de gobernabilidad mundial.

17. **Alianzas para lograr los objetivos:** La finalidad de los objetivos es mejorar la cooperación entre los diferente gobiernos o entidades, apoyando los planes nacionales en el cumplimiento de todas las metas. Promover el comercio internacional y ayudar a los países en desarrollo para que aumenten sus exportaciones, forma parte del desafío de lograr un sistema de comercio universal equitativo y basado en reglas que sea justo, abierto y beneficie a todos.

BIBLIOGRAFIA

Aquí tienes la bibliografía en formato APA 7ª edición:

1. Abbas, K., Lichtman, A., & Pillai, S. (2020). *Inmunología básica: Funciones y trastornos del sistema inmune* (6ª ed.). Elsevier.
2. Armitage, J., Niederhuber, J., & Doroshow, J. (2020). *Clinical oncology* (6ª ed.). Elsevier.
3. Cañarte, J. (2019). *Inmunología básica: Un enfoque integral*. Editorial Ciencia Digital.
4. Carbone, J. (2017). *Inmunoterapia de enfermedades de base inmunológica*. Elsevier.
5. Carabias, J. (2009). *Ecología y medio ambiente en el siglo XXI*. Pearson Educación.
6. Damjanov, I., Knoeles, B., & Solter, D. (1989). *The human teratomas: Experimental and clinical biology*. Human-Press.
7. Del Brío, M., & Rivera, P. (1995). *Manual de bases teórico-prácticas de inmunocitoquímicos*. Universidad de Oviedo.
8. Gudynas, E. (2003). *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible* (5ª ed.).

9. Ibáñez, E. (2010). *Curso de inmunología general*. Recuperado de http://www.ugr.es/eianez/inmuno/inmuno.htm

10. Jiménez, J., & Cervera, R. (2021). *Avances en lupus eritematoso sistémico*. Marge Books.

11. Kaplan, J., Cronin, B., & Maus, T. (2020). *Anestesia en cirugía cardíaca* (2ª ed.). Elsevier.

12. Laborda, J. (2021). *Inmunología desinflamada*. Hélice.

13. Male, D., Brostoff, J., Roth, D., & Roitt, I. (2007). *Inmunología* (7ª ed.). Elsevier Mosby.

14. Mestre, L., & Guaza, C. (2021). *La esclerosis múltiple*. CSI.

15. Olazabal, I., & Arias, J. (2017). *Inmunología básica para medicina*. Elsevier.

16. Odum, E., & Barrett, G. (2005). *Fundamentos de ecología* (5ª ed.).

17. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Memoria del Secretario General sobre la labor de la organización*. Naciones Unidas.

18. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado de https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html

19. Rojas-Espinosa, O. (2006). *Inmunología* (3ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

20. Silva, L., Ania, J., Lopez, J., Castillón, L., Junquera, C., Ales, M., Pont, C., Castilla, M., Muñoz, D., & Jurado, M. (2004). *Enfermeros del Consorcio Sanitario de Tenerife* (Vol. I). Editorial Mad SL.

21. Taborda, N., Hernández, J., Montoya, C., & Rugeles, M. (2014). Células naturales killer y su papel en la respuesta inmunitaria durante la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana tipo 1. *Inmunología, 33*(1), 11-20.

22. Turnpenny, P., & Ellard, S. (2018). *Elementos de genética médica* (15ª ed.). Elsevier.

23. Valor, L., & de la Torre, I. (2013). Comprender el concepto de inmunogenicidad. *Reumatología Clínica, 9*(1), 1-4.

TEMA 10: LA GENÉTICA Y DETERIORO AMBIENTAL

La genética, es una de las ramas de la biología que más desarrollo ha tenido en las últimas décadas, en cuanto a su aplicación en la solución de muchos problemas actuales relacionados con la medicina, agricultura, crianza de animales, entre otras, en este capítulo abordaremos los conceptos básicos de la genética y algunas aplicaciones en el campo de la biotecnología.

10 GENÉTICA

Rama de la biología que se ocupa del estudio de los mecanismos de la herencia, las leyes por las que se rigen y las variaciones que ocurren en la transmisión de los caracteres hereditarios.

10.1 CONCEPTOS BÁSICOS

- **Gen:** Unidad molecular de la herencia genética, ya que se transfiere de generación en generación y contiene información presente en un segmento de ADN, que al codificarse forma una proteína, la cual puede dar origen a características propias de los organismos.
- **Locus:** Posición específica que ocupa un gen en la estructura de un cromosoma, se considera su dirección genética. El plural de locus es Loci y señala la posición de varios genes en un cromosoma.
- **Carácter:** Es un atributo de un organismo que es heredable y que posee función. Un gen o varios genes se codifican en características propias de los seres vivos. Por ejemplo, el carácter "color de ojos" en humanos la cual además poseen

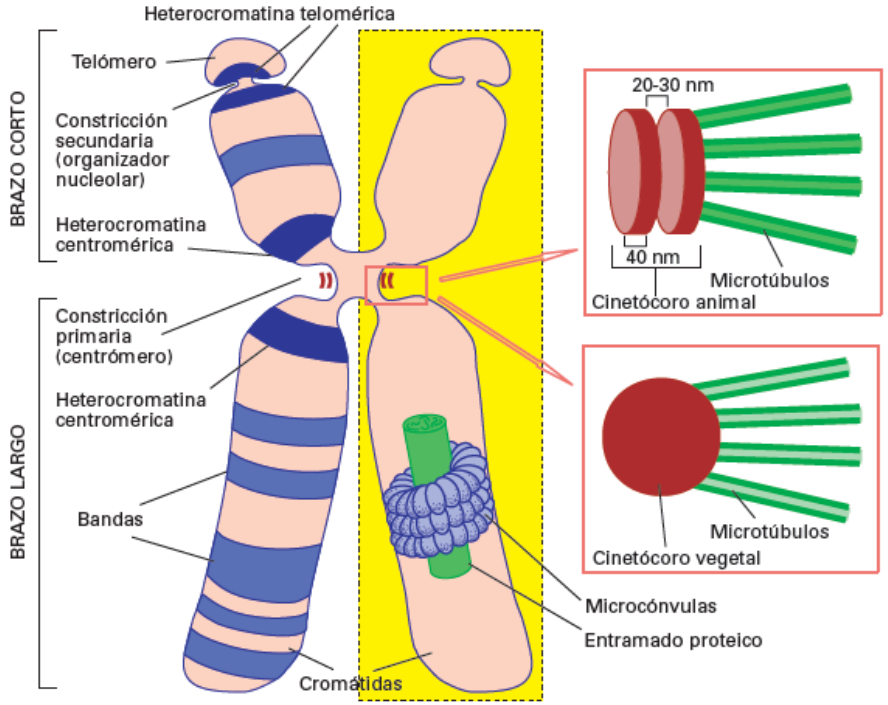
diferentes estados o variedades como marrón, azul, verde, gris, etc. Los cuáles serán llamados alelos o alelomorfos.

- **Alelo:** Variaciones o posibilidades del carácter, ya que la mayoría de los mamíferos son diploides, poseen dos juegos de cromosomas, uno de ellos procedente del padre y el otro de la madre. Cada par de alelos se ubica en igual locus o lugar de los cromosomas homólogos que pertenecen al mismo par del cariotipo. Se pueden dividir en: Alelos dominantes: Es aquel que se expresa, aunque el otro alelo lleve una información diferente, se representan con letras mayúsculas y alelos recesivos: es aquel cuya información sólo se expresa cuando se encuentra en condición homocigótica, es decir que el individuo lleva los dos alelos recesivos, se representa con letras minúsculas. Ejemplo: A (Gen que determina negro) y a (Gen que determina blanco).
- **Homocigoto dominante:** Aquel formado por dos alelos dominantes. Ejemplo: AA (Negro).
- **Homocigoto recesivo:** Aquel formado por dos alelos recesivos. Ejemplo: aa (Blanco).
- **Heterocigotos:** Formado por alelos diferentes, se expresa el gen dominante. Ejemplo: Aa (Negro).
- **Genotipo:** Toda la información contenida en los cromosomas se conoce como genotipo, dicha información puede o no manifestarse en el individuo.
- **Fenotipo:** Es el resultado de la expresión de un porcentaje de genes del genotipo, que son directamente o indirectamente influenciados del medio ambiente y factores epigenéticos.
- **Genoma**: Es el conjunto de genes que presenta una población o especie.

10.2 LOS CROMOSOMAS

Son estructuras de tipo filamentoso constituidos por ADN y proteínas. El número de cromosomas es un carácter específico y distintivo de cada una de las especies, cada uno con su propio tamaño y estructura y, por lo general, todos los tejidos del organismo (excepto los gametos) tienen la misma dotación cromosómica (Pierce, 2006), es lo que se conoce como número cromosómico. En la especie humana, cada célula posee 46 cromosomas.

Fig. 10.1. Partes de un cromosoma



Fuente: Robertis 2002.

10.2.1 ESTRUCTURA DE UN CROMOSOMA

a) **Cromátidas, cromátides:** Es la mitad longitudinal de un cromosoma metafásico. Hay dos cromátides por cada cromosoma, una cromátide es original y la otra es copia o réplica de la cadena de ADN y se unen al centrómero.
Las cromátides se separan una de la otra en la etapa de anafase de la mitosis y la anafase II de la meiosis.

b) **Centrómero:** Es la constricción primaria del cromosoma. Las estructuras más importantes de esta zona son los cinetocoros, cuerpos compuestos por tubulina. Sirven como zonas de fijación del cromosoma a las fibras del huso acromático y permiten la segregación del mismo durante la división celular y mantienen asociadas las dos cromátides.

c) **Brazos:** Corresponden a los segmentos delimitados por el centrómero. Generalmente hay dos brazos por cromosoma, un brazo corto y un brazo largo. En otros casos no hay brazo corto y otros tienen 2 brazos de igual tamaño.

d) **Telómero:** Son los extremos de los cromosomas y se encargan de darle estabilidad. Son las porciones de ADN que estabilizan al cromosoma impidiendo su desequilibrio y

pérdida del mismo, además mantienen la viabilidad del mismo.

e) **Satélite o zona sat.:** Son segmentos pequeños de cromátide separada del resto del cuerpo por una constricción secundaria.

f) **Constricción secundaria:** Son estrechamientos cromosómicos menos pronunciados que el centrómero, constantes en posición y tamaño; en él se encuentra el organizador nucleolar, llamado así porque en esa zona cromosómica se reorganiza el nucléolo durante la telofase.

10.2.2 TIPOS DE CROMOSOMAS

Según la posición relativa del centrómero:

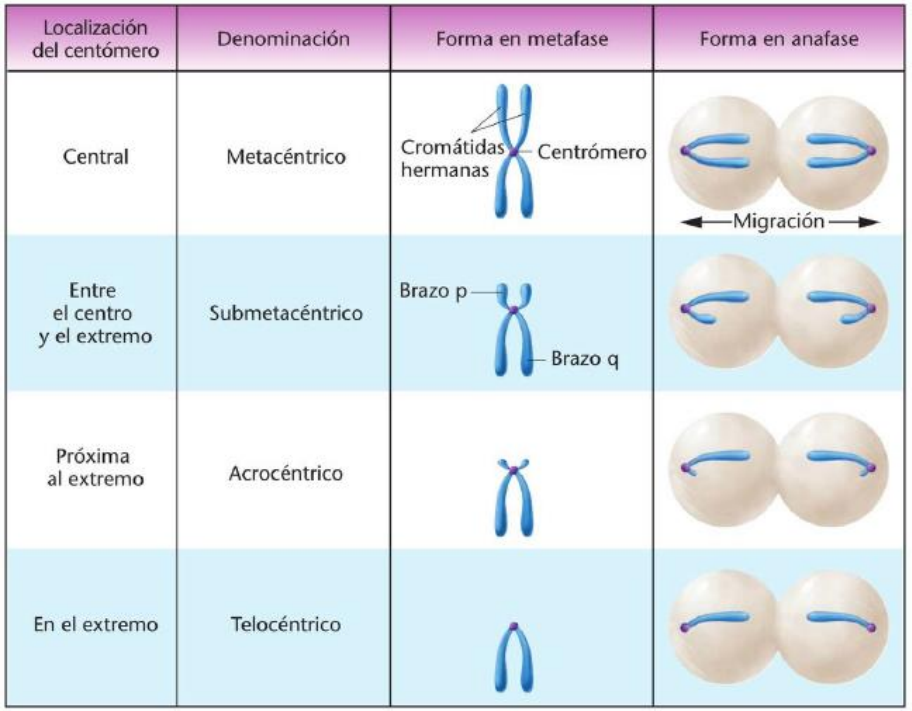
a) **Metacéntricos:** el centrómero se encuentra en la parte media y los brazos son iguales.

b) **Submetacéntricos:** el centrómero está desplazado hacia uno de los extremos del cromosoma. Los brazos son ligeramente desiguales.

c) **Acrocéntricos:** el centrómero se posiciona cerca de uno de los extremos del cromosoma, dando lugar a que uno de los brazos sea mucho más corto que el otro (en los cromosomas humanos el brazo corto se designa por la letra p y el brazo largo por la letra q).

d) **Telocéntrico:** el centrómero se encuentra en posición terminal del cromosoma, la cual nos presenta un cromosoma bastoniforme de modo que este aparenta tener un solo brazo (Klug et al., 2006).

Fig. 10.2. Tipos de cromosomas según la posición del centrómero



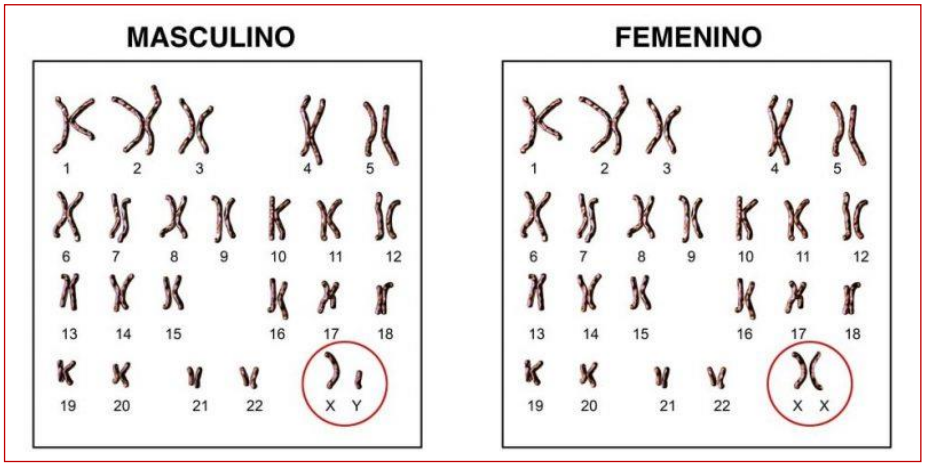
Fuente: Klug et al. 2013

Según la información que contiene son:

a). Autosómicos: 22 pares. Son responsables de las características fenotípicas de los individuos y no entra en la herencia de los rasgos específicos del género.

b). Sexuales: 1 par. Determinan el sexo de un organismo. En los mamíferos existen dos cromosomas sexuales, el X y el Y. Cromosomas XX para la mujer o hembra y XY para el hombre o macho. Ambos cromosomas, X y Y, difieren en su forma, tamaño e información que transmiten (De Erize y Gonzales, 2012).

Fig. 10.3. Cromosomas somáticos y sexuales femenino

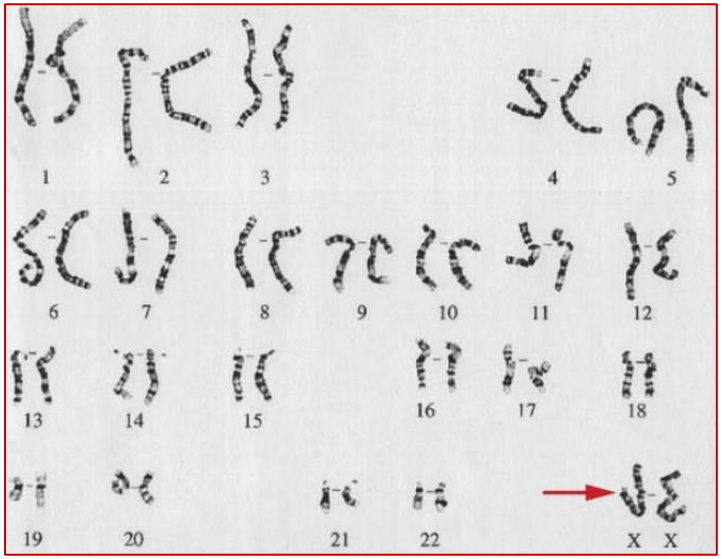


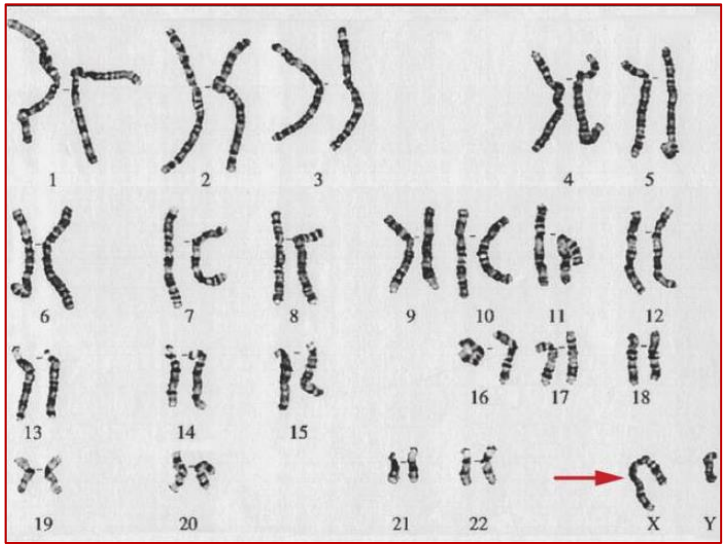
Fuente Klug et al. 2013

10.3 CARIOGRAMA

Se refiere a la representación ordenada de los cromosomas de una persona, un esquema, foto o dibujo de los cromosomas de una célula metafásica ordenados de acuerdo a su morfología (metacéntricos, submetacéntricos, telocéntricos, subtelocéntricos y acrocéntricos) y tamaño, para esto se utilizan tinciones especiales que permiten distinguir las bandas claras y oscuras en los cromosomas y de esa manera saber si la persona sufre de una alteración cromosómica.

Fig. 10.4. Cariotipo masculino y femenino normal





Fuente: Klug et al. 2013

10.4 LEYES DE LA HERENCIA DE MENDEL

Gregorio Johann Mendel (1822 - 1884), monje y naturalista de origen austríaco, hizo cruces con guisantes, llamadas en nuestro medio arvejas (*Pisum sativum* L.), y producto de su análisis cuantitativo sentó las reglas básicas de la genética moderna.

Fig. 10.5. Caracteres registrados por Mendel

Carácter	Caracteres alternativos		Resultados en F_1	Resultados en F_2	Proporción en F_2
Forma de la semilla	redondo/rugoso		todas redondas	5.474 redondas 1.850 rugosas	2,96:1
Color de la semilla	amarillo/verde		todas amarillas	6.022 amarillas 2.001 verdes	3,01:1
Forma la de vaina	hinchado/arrugado		todas hinchadas	882 hinchadas 299 arrugadas	2,95:1
Color de la vaina	verde/amarillo		todas verdes	428 verdes 152 amarillas	2,82:1
Color de la flor	violeta/blanco		todas violeta	705 violetas 224 blancas	3,15:1
Posición de la flor	axial/terminal		todas axiales	651 axiales 207 terminales	3,14:1
Longitud del tallo	alto/enano		todos altos	787 altos 277 enanos	2,84:1

Fuente: Klug et al. 2013

10.4.1 PRIMERA LEY DE MENDEL

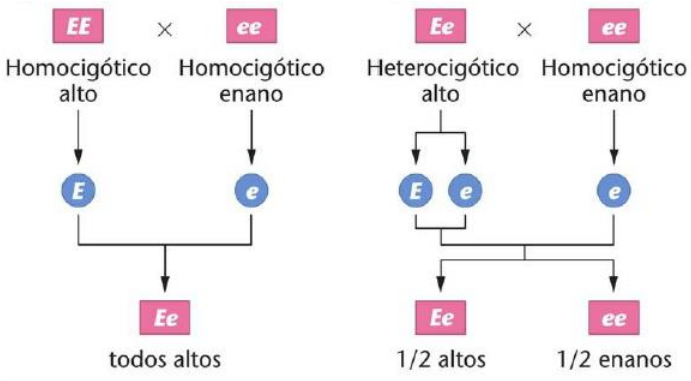
También llamada **ley de la uniformidad de los híbridos de la primera generación** (F1), y dice que cuando se cruzan dos variedades de individuos de raza pura ambos (homocigotos) para un determinado carácter; todos los híbridos de la primera

generación son iguales fenotípicamente a uno de los progenitores el cual será llamado dominante y el otro recesivo.

Lo que esta primera ley quiere decir es que existen unos genes más fuertes que otros; por tanto, siempre van a ser evidentes, palpables, visibles o medibles. Debido a que siempre que estén presentes en un individuo esos genes se expresarán opacando a otros, se les dio el nombre de genes dominantes, ya que vencen a los genes recesivos. Estos últimos sólo se expresan en ausencia de un gen dominante.

Experimento: Mendel llegó a esta conclusión trabajando con una variedad pura de guisantes que producían semillas amarillas y con una variedad que producía semillas verdes. Al hacer un cruzamiento entre estas plantas, obtenía siempre plantas con semillas amarillas.

Fig. 10.6. Primera cruza de dos plantas homocigotas dominante y recesiva.



Fuente: Klug et al. 2013

Primera generación F1:

- Fenotipo: 100% semillas amarillas.
- Genotipo: 100% heterocigotos.

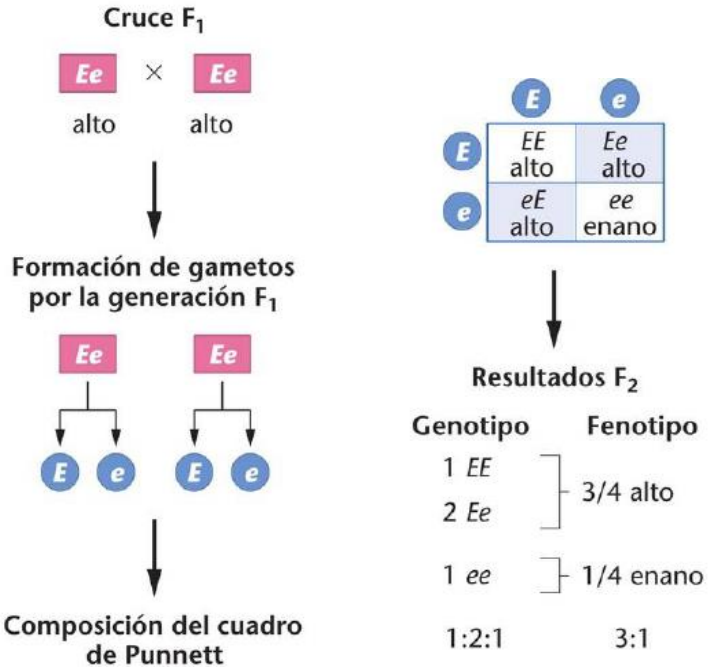
Interpretación del experimento: El polen de la planta progenitora aporta a la descendencia un alelo para el color de la semilla, y el óvulo de la otra planta progenitora aporta el otro alelo para el color de la semilla; de los dos alelos, solamente se manifiesta aquel que es dominante (A), mientras que el recesivo (a) permanece oculto.

10.4.2 SEGUNDA LEY DE MENDEL

Llamada también **ley de la segregación o separación o disyunción de los alelos**.

Experimento: Mendel tomó plantas procedentes de las semillas de la primera generación (F1) del experimento anterior y las polinizó entre sí. Del cruce obtuvo semillas amarillas y verdes en la proporción de 3 amarillas y 1 verde. Así pues, aunque el alelo que determina la coloración verde de las semillas parecía haber desaparecido en la primera generación filial, vuelve a manifestarse en esta segunda generación.

Fig. 10.7. Primera y segunda ley de Mendel



Fuente: Klug et al. 2013

Segunda generación F2:

- **Fenotipo**: 75% semillas amarillas y 25% semillas verdes.
- **Genotipo**: 25% homocigoto dominante, 50% heterocigoto, 25% homocigoto recesivo.

Interpretación del experimento: Los dos alelos distintos para el color de la semilla, presentes en los individuos de la primera generación filial, no se han mezclado ni han desaparecido; simplemente ocurría que se manifestaba solo uno de los dos. Cuando el individuo de fenotipo amarillo y genotipo Aa forme los gametos, se separan los alelos, de tal forma que en cada gameto solo habrá uno de los alelos; ello explica los resultados obtenidos.

10.4.3 TERCERA LEY DE MENDEL

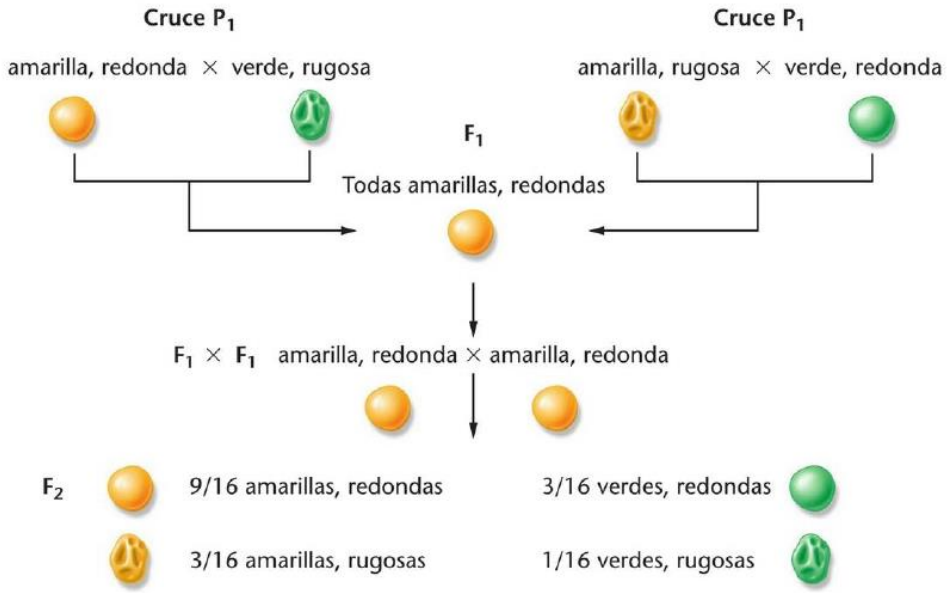
Conocida también como **ley de la herencia independiente de caracteres o segregación independiente**. Hace referencia al caso de que se contemplen dos caracteres distintos. Cada uno de ellos se transmite siguiendo las leyes anteriores con independencia de la presencia del otro carácter.

Experimento: Mendel cruzó plantas de guisantes de semilla amarilla y lisa con plantas de semilla verde y rugosa (homocigóticas ambas para los dos caracteres). Las semillas obtenidas en este cruzamiento eran todas amarillas y lisas, cumpliéndose así la primera ley para cada uno de los caracteres considerados, y revelándonos también que los alelos dominantes para esos caracteres son los que determinan el color amarillo y la forma lisa.

Las plantas obtenidas y que constituyen la F1 son dihíbridos (AaBb). Estas plantas de la F1 se cruzan entre sí, teniendo en cuenta los gametos que formarán cada una de las plantas.

Se aprecia que los alelos de los distintos genes se transmiten con independencia unos de otros; ya que en la segunda generación filial F2 aparecen guisantes amarillos rugosos y otros son verdes y lisos, combinaciones que no se habían dado en la generación parental (P) ni en la filial primera (F1). Así mismo, los resultados obtenidos para cada uno de los caracteres considerados por separado, responden a la segunda ley.

Fig. 10.8. Tercera ley de Mendel



Fuente: Klug et al. 2013

Segunda generación F2: Fenotípicamente tenemos:

- 9 amarillos - lisos
- 3 amarillos - rugosos
- 3 verdes - lisos
- 1 verde - rugoso

Interpretación del experimento: Los resultados de los experimentos de la tercera ley refuerzan el concepto de que los genes son independientes entre sí, que no se mezclan ni desaparecen generación tras generación. Para esta interpretación fue providencial la elección de los caracteres; pues estos resultados no se cumplen siempre, sino solamente en el caso de que los dos caracteres a estudiar estén regulados por genes que se encuentran en distintos cromosomas.

10.5 TIPOS DE HERENCIA

10.5.1 HERENCIA DOMINANTE

Se habla de herencia dominante cuando los híbridos o heterocigóticos sólo manifiestan uno de los fenotipos paternos. Uno de los alelos, el dominante (A), enmascara por completo al otro, el recesivo (a). El carácter dominante se manifiesta, por tanto, en individuos homocigotos dominantes (AA) como en individuos heterocigotos (Aa).

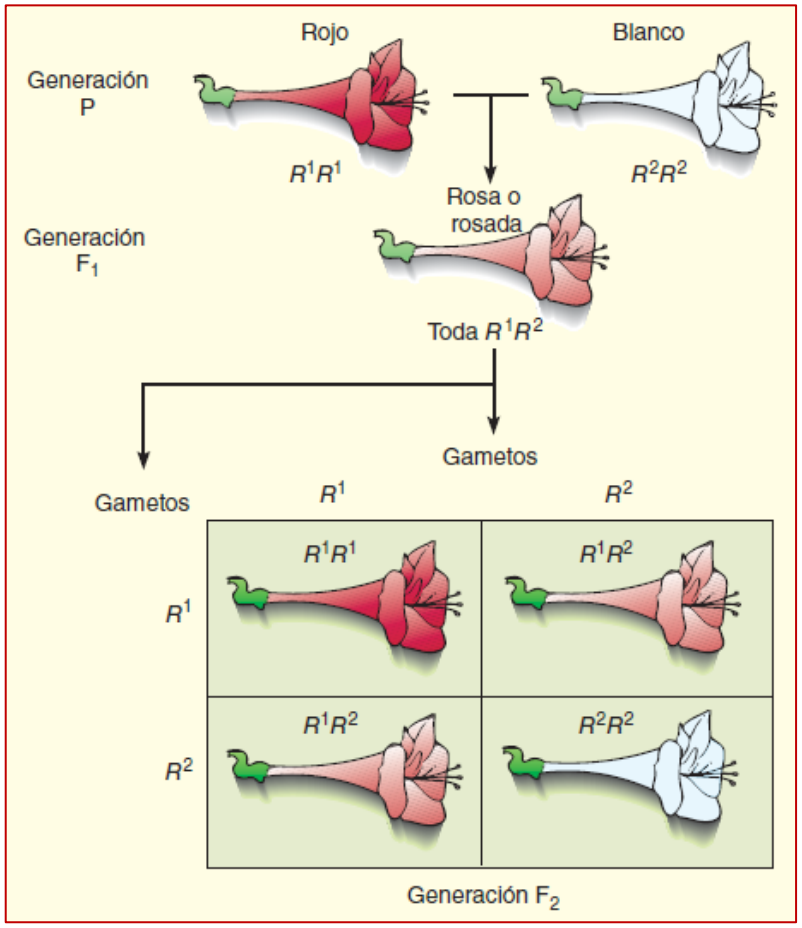
10.5.2 DOMINANCIA INCOMPLETA O HERENCIA INTERMEDIA

Ocurre cuando un alelo es responsable de la síntesis de un producto (proteína o enzima) funcional y el otro alelo de un producto no funcional. Los heterocigotos cuentan con una cantidad intermedia del producto alélico funcional y, por lo tanto, su fenotipo es intermedio entre los que presentan los homocigotos de ambos alelos. Esto se presenta, por ejemplo, en la planta “maravilla del Perú”, que presenta flores rojas y blancas. Al cruzar estas resulta un color intermedio; flores rosadas.

Darwin Rueda (2016) señala que: “Cuando las plantas de flores rosadas se cruzan entre sí, la F2 resultante produce 25% de plantas de flores rojas, 50% de flores rosadas y 25% de flores blancas, con lo que se obtiene una proporción del color de las flores o frenó típica de 1:2:1. Estos resultados se producen si uno de los miembros del par alelo para el color de las flores ejerce una dominancia incompleta sobre el otro miembro del par alelo”. (p.47).

El fenotipo intermedio se representa mediante la siguiente simbología genética: N^1N^2.

Fig. 10.9. Dominancia incompleta



Fuente: Klug et al. 2013; Solomon et al. 2013

10.5.3 CODOMINANCIA

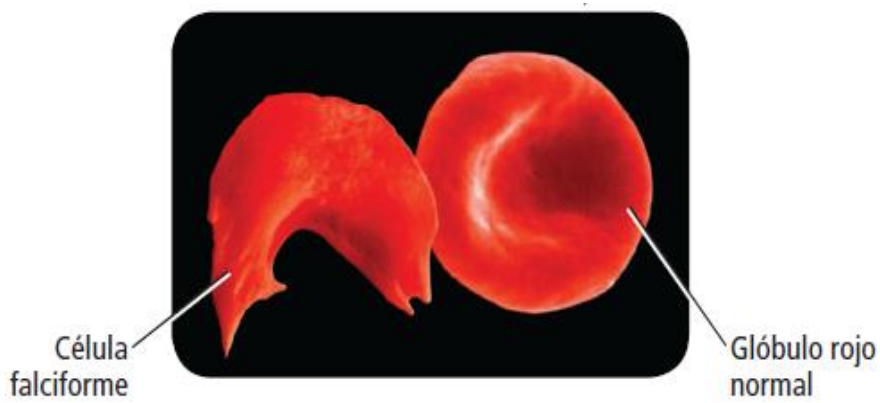
Este caso ocurre cuando ambos alelos son responsables de la síntesis de un producto funcional diferente. En este caso, los heterocigotos presentan los dos productos alélicos funcionales y, polo tanto, en su fenotipo, se expresan ambas características al mismo tiempo sin mezclarse. Lo importante es que, tanto en la dominancia intermedia como en la codominancia o dominancia compartida se obtiene un tercer fenotipo.

Para la representación de la herencia codominante se utilizan dos letras mayúsculas iguales con una letra en superíndice también en mayúscula, indicando la característica que manifiesta.

Por ejemplo: en el ganado vacuno hay individuos de color blanco (C^BC^B) y negros (C^NC^N), son homocigotos para los alelos C^B y C^N respectivamente. Se esperaría que los hijos heterocigotos C^BC^N fueran negros o blancos si el patrón hereditario siguiera la ley de la dominancia de Mendel, o que fueran grises si se tratara de una característica dominante incompleta, pero en este caso el heterocigoto tiene el color blanco y negro a la vez.

Otro ejemplo, la enfermedad de la anemia falciforme: El alelo responsable de la anemia falciforme es particularmente común en personas de descendencia africana y cerca de un nueve por ciento de afroamericanos tienen una forma del rasgo. La anemia falciforme afecta los glóbulos rojos y su capacidad de transportar oxígeno. Los cambios en la hemoglobina (la proteína en los glóbulos rojos) hacen que esas células sanguíneas adopten forma de hoz o de *C*. Las células falciformes no transportan eficazmente el oxígeno porque obstruyen la circulación de los pequeños vasos sanguíneos. Los heterocigotos para el rasgo tienen tanto células normales como células falciformes. Estos individuos pueden llevar vidas relativamente normales porque los glóbulos sanguíneos normales compensan las células falciformes.

Fig. 10.10. Anemia falciforme



Fuente: Solomon et al. 2013

10.5.4 ALELOS MÚLTIPLES

Cuando existen tres o más alelos involucrados en la herencia de un carácter determinado, cada uno de los alelos produce un fenotipo distinto. Ejemplo: grupos sanguíneos, color de ojos de la mosca de la fruta, color de la piel, talla, huellas dactilares, etc.

El caso de los grupos sanguíneos humanos (sistema ABO) se caracteriza por la presencia de antígenos en la superficie de los glóbulos rojos, dichos antígenos están bajo el control de un gen diferente el cual se encuentra en el cromosoma 9, en este sistema tenemos 3 alelos: I^A (dominante), I^B (dominante) y i^o

(recesivo), siendo I^A y I^B dominantes sobre i^o, pero codominantes entre sí. La combinación de estos alelos hará que la persona pueda ser grupo sanguíneo A, B, O o AB (Fenotipos).

El sistema tiene dos antígenos (aglutinógenos) y dos anticuerpos (aglutininas).

Fig. 10.11. Sistema sanguíneo ABO

Fenotipo (tipo sanguíneo)	Genotipo	Antígeno de la superficie de eritrocitos	anticuerpos séricos contra los antígenos A o B
A	I^AI^A o I^Ai	A	Anti-B
B	I^BI^B o I^Bi	B	Anti-A
AB	I^AI^B	A, B	Ninguno
O	ii	Ninguno	Anti-A, anti-B

*Esta tabla y el análisis del sistema sanguíneo ABO se han simplificado. Observe que el cuerpo produce anticuerpos contra los antígenos *faltantes* en sus propios eritrocitos o glóbulos rojos. Debido a su especificidad para los correspondientes antígenos, esos anticuerpos se emplean en pruebas estándar para determinar tipos sanguíneos.

Fuente: Solomon et al. 2013

DETERMINACION DEL SEXO

En todas las células de un individuo, excepto en los gametos, existen dos series de cromosomas que forman pares homólogos. Al agrupar estos pares homólogos existe un par de cromosomas que son diferentes según sea el organismo macho o hembra. Estos dos cromosomas pueden ser identificados, por su forma y tamaño, como pertenecientes a uno de los dos sexos (**cromosomas sexuales**), mientras que el resto de pares homólogos son iguales en tamaño y forma para ambos sexos de una especie, y se denominan **autosomas**.

La determinación genética del sexo agrupa al conjunto de factores y mecanismos genéticos que definen el carácter de "sexo" de un individuo. La diferenciación sexual es la expresión fenotípica de dicha constitución genética, y conlleva la capacidad de producir dos clases complementarias de células germinales o gametos.

En la especie humana los genes que determinan la sexualidad se reúnen en unos cromosomas determinados que se llaman cromosomas sexuales "**X**" que es femenino, y cromosoma sexual "**Y**" que es masculino.

En mamíferos, incluido el hombre el macho determina el sexo: **XX:** Femenino (homogamético) y **XY:** Masculino (heterogamético).

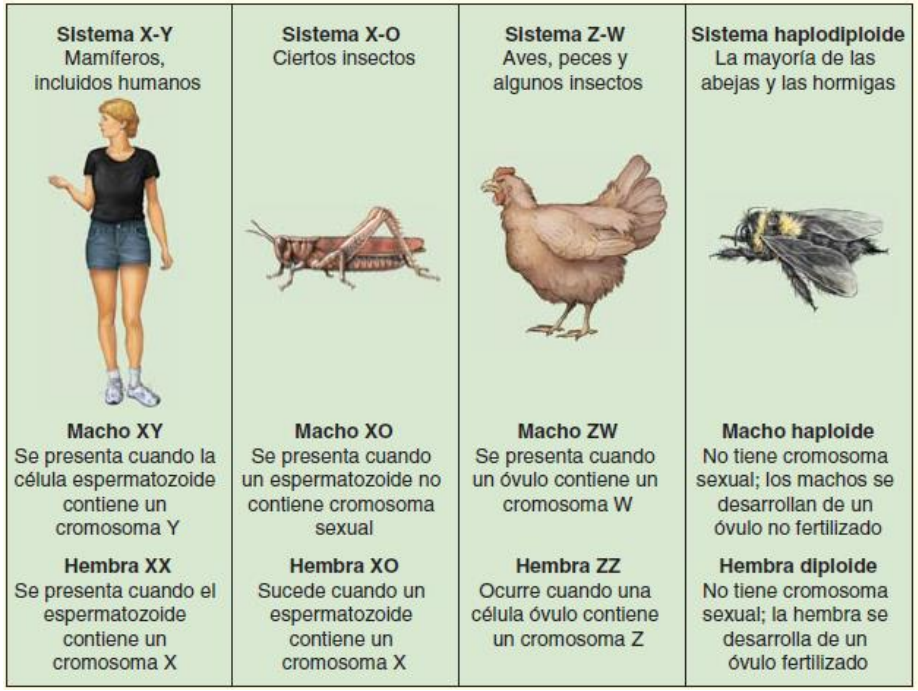
La determinación sexual queda marcada en el momento de la fecundación y viene fijada por el tipo de gametos que se unen.

Las mujeres solo producirán un tipo de óvulo con 22 autosomas y un cromosoma sexual “X”; mientras que los varones formarán dos tipos de espermatozoides, el 50% portadores de un cromosoma “X” y el 50% portadores de un cromosoma “Y”. Al ser la fecundación producto del azar, un óvulo puede unirse a cualquiera de los dos tipos de espermatozoides que se han producido, por lo que la mitad de los casos forman hembras y en otro 50% se forman machos.

El gen SRY (*sex-determining region Y*), es el gen responsable de las características sexuales masculinas en mamíferos. Se localiza en el brazo corto del cromosoma Y.

En el sistema ZW como sucede en aves, el óvulo es el que determina el sexo, a diferencia del sistema de determinación del sexo XY, donde es el espermatozoide el que determina el sexo. Se usan las letras Z y W para nombrar a los cromosomas de este sistema para distinguirlos de los del sistema XY. Los machos son homogaméticos (ZZ), mientras que las hembras son heterogaméticas (ZW). El cromosoma Z es más grande y tiene más genes, como el cromosoma X en el sistema XY.

Fig. 10.12. Sistemas de determinación del sexo


Sistema X-Y
Mamíferos, incluidos humanos
Macho XY
Se presenta cuando la célula espermatozoide contiene un cromosoma Y
Hembra XX
Se presenta cuando el espermatozoide contiene un cromosoma X
Sistema X-O
Ciertos insectos
Macho XO
Se presenta cuando un espermatozoide no contiene cromosoma sexual
Hembra XO
Sucede cuando un espermatozoide contiene un cromosoma X
Sistema Z-W
Aves, peces y algunos insectos
Macho ZW
Se presenta cuando un óvulo contiene un cromosoma W
Hembra ZZ
Ocurre cuando una célula óvulo contiene un cromosoma Z
Sistema haplodiploide
La mayoría de las abejas y las hormigas
Macho haploide
No tiene cromosoma sexual; los machos se desarrollan de un óvulo no fertilizado
Hembra diploide
No tiene cromosoma sexual; la hembra se desarrolla de un óvulo fertilizado

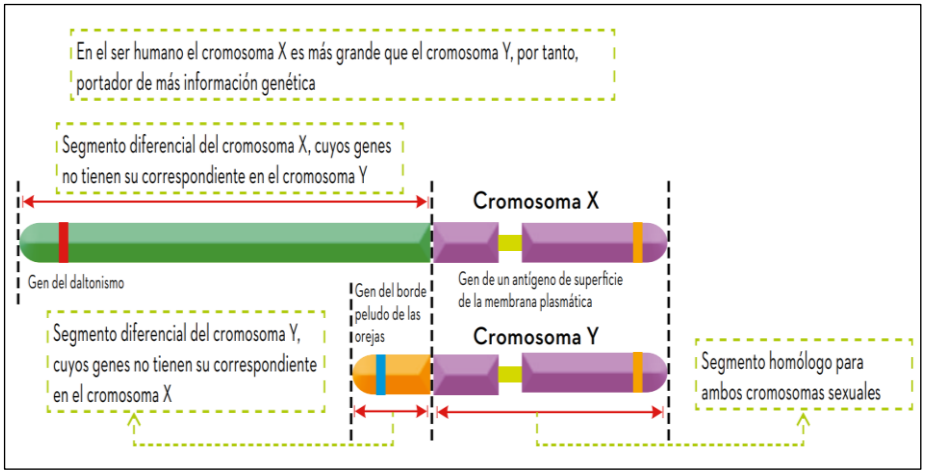
Fuente: Solomon et al. 2013

10.5.5 HERENCIA LIGADA AL SEXO

Los cromosomas sexuales están compuestos por un **segmento homólogo** donde se localizan genes que regulan los mismos caracteres, y otro **segmento diferencial** como del cromosoma “X” donde se localizan los genes ginándricos (daltonismo y

hemofilia) y del cromosoma "Y" donde se localizan los genes holándricos (hipertricosis auricular).

Fig. 10.13: Segmento diferencial y homólogo de los cromosomas X y Y.


En el ser humano el cromosoma X es más grande que el cromosoma Y, por tanto, portador de más información genética
Segmento diferencial del cromosoma X, cuyos genes no tienen su correspondiente en el cromosoma Y
Cromosoma X
Gen del daltonismo
Gen del borde peludo de las orejas
Gen de un antígeno de superficie de la membrana plasmática
Cromosoma Y
Segmento diferencial del cromosoma Y, cuyos genes no tienen su correspondiente en el cromosoma X
Segmento homólogo para ambos cromosomas sexuales

Fuente: Ramos et al. 2016

a) Daltonismo: Incapacidad de distinguir determinados colores, especialmente, el color verde del rojo. Este carácter es regulado por un gen recesivo localizado en el segmento diferencial del cromosoma "X".

Sexo	Genotipo	Fenotipo
Femenino	$X^D X^D$	Normal
	$X^D X^d$	Normal portadora
	$X^d X^d$	Daltónica
Masculino	$X^D Y$	Normal
	$X^d Y$	Daltónico

b) Hemofilia: Es el estado patológico caracterizado por la no coagulación de la sangre. Se debe a una anomalía en la síntesis de trombina (ausencia del factor VIII de coagulación). Al igual que el daltonismo, se trata de un carácter recesivo que afecta fundamentalmente a los varones; ya que las posibles mujeres hemofílicas no llegan a nacer, pues esta combinación homocigótica recesiva es letal en el estado embrionario.

Sexo	Genotipo	Fenotipo
Femenino	$X^H X^H$	Normal
	$X^H X^h$	Normal portadora
	$X^h X^h$	Hemofílica (mortal)
Masculino	X^H Y	Normal
	X^h Y	Hemofílico

10.6 ENFERMEDADES CROMOSOMICAS

Es la alteración del número total de cromosomas. Estas alteraciones pueden ser poliploidías y aneuploidías.

a) **Poliploidías**: Consisten en la presencia de más de dos juegos cromosómicos, como ejemplo tenemos las triploidías (3N) y tetraploidías (4N) cuando se presenta en todas las células del cuerpo. La poliploidía es mortal en el ser humano y en muchos otros animales. La triploidía (3N) no es rara en los embriones abortados espontáneamente en el comienzo del embarazo. Los pocos triploides y tetraploides (4N) que han nacido vivos murieron en unos cuantos días, y al estudiarlos se descubrió que tenían mosaicos de células, es decir tenían células diploides (2N) y poliploides (triploides o tetraploides).

b) **Aneuploidías**: Son más comunes en el humano las anomalías cromosómicas llamadas aneuploidías, que consisten en la ausencia de cromosomas o la presencia de más cromosomas. Por ejemplo, un individuo con un cromosoma adicional en uno de los pares, recibe el nombre de trisómico, y los individuos que carecen de un cromosoma se denominan monosómicos. La causa principal de las trisomías y monosomías es la no disyunción cromosómica durante la meiosis. La no disyunción puede ocurrir en la meiosis I o en la meiosis II. La no disyunción es la no separación de cromosomas que conlleva a un reparto desigual de cromosomas dando consecuencia gametos anómalos.

Las aneuploidías más comunes son las Monosomías y las Trisomías, sin embargo, existen otras formas.

Monosomías (2N – 1 = 45): un cromosoma perdido.

Trisomías (2N + 1 = 47): un cromosoma extra en un par cromosómico.

Tetrasomías (2N + 2 = 48): dos cromosomas extra en un par cromosómico.

Nulosomías (2N – 2 = 44): falta un par cromosómico

10.6.1 ENFERMEDADES CAUSADAS POR ANEUPLOIDÍAS EN CROMOSOMAS SOMÁTICOS

a) **Síndrome de Down (trisomía 21):** El fenotipo está caracterizado por una marcada hipotonía muscular, cara redonda y aplanada. La lengua suele ser grande y hacer protrusión, pliegues epicánticos en los párpados, pliegue simiesco en la palma de la mano, cardiopatía congénita, hernia umbilical, surco entre el dedo gordo y el segundo dedo del pie, presentan retardo mental. Estos individuos presentan un desarrollo sexual normal, su vida está condicionada por la existencia de malformaciones, la sensibilidad elevada a las infecciones y un alto riesgo a la leucemia. Tienen un tiempo de vida corto, solo el 8% sobrepasan los 40 años. Tipo Trisomía 21: 47, XX, +21 Mujer Down y 47, XY, +21 Varón Down.

b) **Síndrome de Edwards (trisomía 18)**: El fenotipo está caracterizado por occipucio prominente, micrognatia, orejas de implantación baja, superposición de dedos, cuello corto, cardiopatía congénita, malformaciones renales, limitación a la abducción de la cadera, pies en mecedora (calcáneo desarrollado). Presentan retraso mental y viven poco tiempo. Tipo Trisomía 18: 47, XX, +18 Mujer Edwards y 47, XY, +18 Varón Edwards.

c) **Síndrome de Patau (trisomía 13):** El fenotipo está caracterizado por microcefalia, microftalmia, labio leporino y paladar hendido, polidactilia, cardiopatía congénita, hernia umbilical, defectos renales y pies en mecedora. Presentan retraso mental. Tipo Trisomía 13: 47, XX, +13 Mujer Patau y 47, XY, +13 Varón Patau.

d) **Síndrome de Lejeune. "Maullido del gato" (monosomía parcial del par 5):** Se debe a una deleción del brazo corto del par 5. El signo más significativo es el carácter agudo del grito del niño, que recuerda el mullido de un gato. Son típicos así mismo una marcada microcefalia con micrognatia e hipertelorismo que se atenúa con la edad. El retraso mental es profundo, el C.I. suele ser inferior a 20. La letalidad es baja, llegando a adulto muchos enfermos. Cariotipos: 46, XX, del (5) (p14) Mujer Lejeune y 46, XY, del (5) (p14) Varón Lejaune.

10.6.2 ENFERMEDADES CAUSADAS POR ANEUPLOIDÍAS EN CROMOSOMAS SEXUALES

a) **Síndrome de Klinefelter (47, XXY):** El fenotipo en estos individuos es el de varones con ginecomastia (desarrollo de mamas), atrofia testicular con azoospermia u oligospermia, esto significa que sus testículos son pequeños y producen poca cantidad o ninguna de espermatozoides, talla elevada y a veces con cierta desproporción. Su aspecto general es feminoide, con barba escasa y caderas anchas, aunque en otros casos, por el contrario, presentan una morfología masculina normal.

   A veces el diagnóstico se establece con ocasión de análisis a causa de una esterilidad. Uno de los cromosomas "X" constituye un Corpúsculo de Barr. Los individuos con síndrome de Klinefelter son varones porque presentan cromosoma "Y". La evidencia de que el cromosoma "Y" es el principal determinante del fenotipo masculino ha sido apoyada por el reciente descubrimiento del gen SRY, llamado factor determinante testicular presente en el cromosoma "Y". También existen síndromes de Klinefelter donde se observa dos o más corpúsculos de Barr.

b) **Cariotipo 47, XYY:** Este cariotipo se relacionó en el pasado con individuos varones confinados en cárceles de máxima seguridad, criminales de inteligencia subnormal y se creyó que la presencia de un cromosoma "Y" adicional podía predisponer a una conducta normalmente agresiva. La prensa en un momento, de forma equivocada, lo denominó el "cromosoma del crimen".

   Este síndrome afecta a 1 de cada 1000 nacimientos masculinos, en algunos se pueden observar características como: talla elevada, que puede llegar a más de 2 metros y el acné profuso, hipotonía, clinodactilia, hipertelorismo, trastorno de déficit de atención (TDAH), problemas en el lenguaje oral y comportamiento, sin embargo, a mayoría de estos chicos son normales, pudiendo tener un desarrollo sexual y fertilidad normal.

c) **Cariotipo 47, XXX:** Se trata de mujeres generalmente normales, en otros casos puede darse poco desarrollo de las características sexuales secundarias, esterilidad y retraso mental. Cuando se analiza el cariotipo de una mujer triple "X" se encuentran dos corpúsculos de Barr que vendrían a ser dos de los cromosomas "X".

d) **Síndrome de Turner – Monosomía del par sexual X (46, X0):** Se trata de mujeres que presentan retraso de crecimiento, es decir, baja estatura, infantilismo sexual, ovarios rudimentarios sin epitelio germinativo y en cintilla, lo que las hace estériles, amenorrea (falta de menstruación), tórax ancho con pezones hipoplásicos y muy separados, nevus pigmentados, linfodema periférico al nacer, cubito en valgo, pliegues en el cuello, coartación de la aorta. A veces retardo mental.

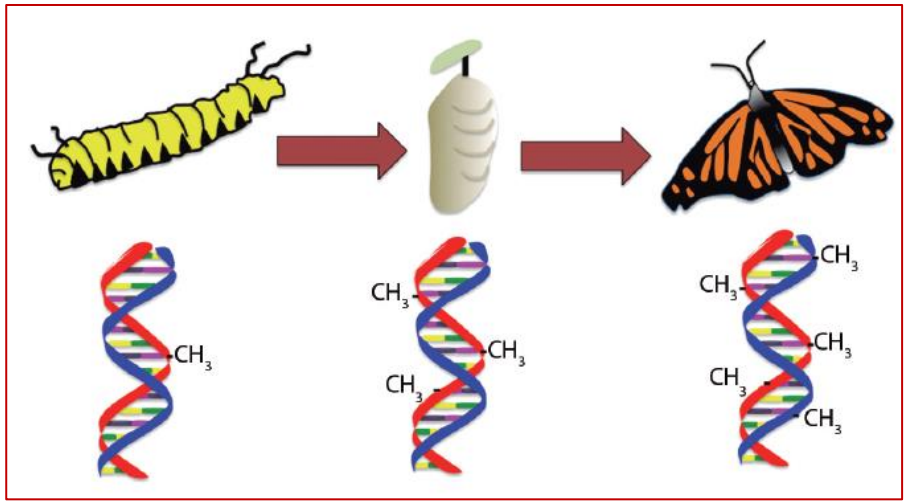
10.7 EPIGENÉTICA

En la actualidad, la epigenética se define como el estudio de los cambios heredables en la expresión de los genes que no afectan la secuencia del ADN. Cabe mencionar que, aquí, herencia no se refiere a cambios heredables de padres a hijos, sino a mantener la memoria epigenética y la integridad del genoma en cada división para preservar la identidad celular. Por lo tanto, el desarrollo de un organismo surge de la combinación de información genética y epigenética; en este proceso, la molécula del ADN y su organización en cromatina tienen un papel fundamental.

10.7.1 FUTURO DE LA EPIGENÉTICA

La palabra epigenética se deriva del griego επι que significa “sobre”, y γένεδις (génesis) que significa “generación”, “origen” o “creación”. Así, la epigenética son todos los mecanismos que se encuentran sobre la genética y se refiere a que no depende de las mutaciones en los genes, sino de las modificaciones que sufre la cromatina de éstos. La epigenética se refiere al estudio de todos los factores no genéticos que intervienen en el desarrollo de un organismo, y de las interacciones entre los genes y el medio ambiente. El “epi” en epigenética se basa en un fenómeno que va “más allá” de los genes. Esto puede explicarse mejor con el ejemplo de los gemelos homocigóticos, quienes comparten el mismo ADN y, aunque éste es idéntico, presentan ligeras diferencias fenotípicas dadas por modificaciones epigenéticas que ocurren a lo largo de la vida del individuo debido a la exposición a un medio ambiente diferente, experiencias diferentes e incluso comida diferente (De la Peña y Loyola, 2017)

Fig.10.14. Ejemplo epigenético del desarrollo de una mariposa. El genoma es el mismo, lo que cambia es el epigenoma (metilaciones en las citosinas del ADN).



Fuente: de la Peña y Loyola, 2017

Por ejemplo: Parte del fenómeno de floración temprana que se ha observado en diferentes plantas se debe al calentamiento global que estamos padeciendo hoy y en el que destacan inviernos más intensos y veranos más prolongados y calientes.

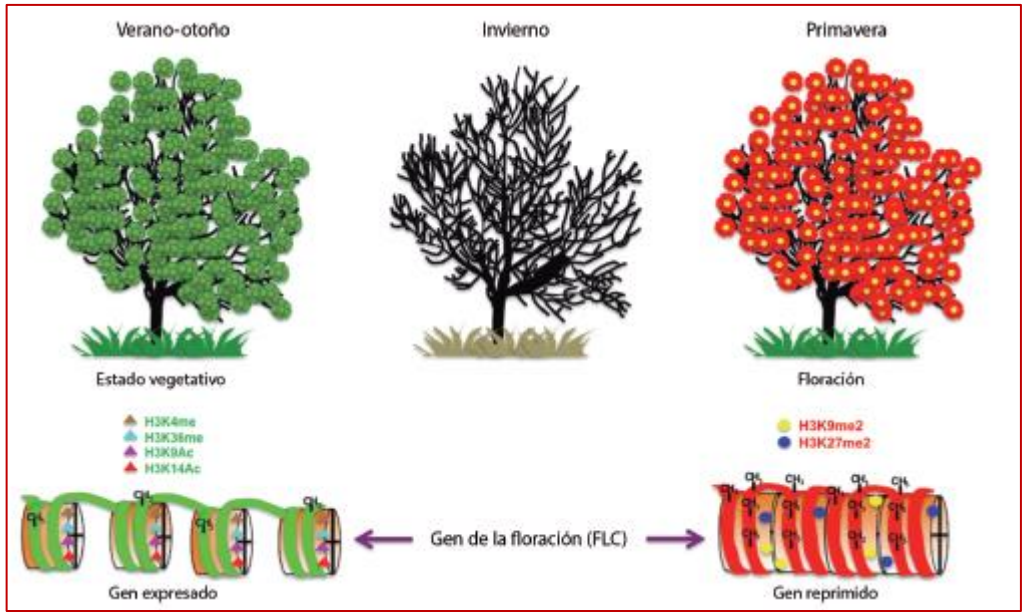
Los científicos comentan que el aumento en la temperatura ha ocasionado un adelanto en la floración, la cual se puede acelerar a un ritmo de cinco a seis días al año por cada grado Celsius que aumente la temperatura. Las plantas necesitan varios años para adaptarse a los cambios climáticos. Para que se lleve a cabo la floración deben conjuntarse diferentes factores internos (hormonales y nutricionales) y externos (luz y temperatura). La reacción fisiológica de las plantas a la duración del día se llama fotoperiodo, y al efecto de las bajas temperaturas se denomina vernalización.

Los estudios epigenéticos en la planta *Arabidopsis thaliana* han contribuido de manera relevante a conocer los procesos biológicos en las plantas. Los científicos han comprobado que el proceso de vernalización en las plantas provoca cambios epigenéticos que regulan genes involucrados en la floración.

Uno de los genes más estudiados que controlan la floración por mecanismos epigenéticos es el gen llamado Flowering Locus C (FLC). Durante el verano y el otoño, cuando las horas de luz y la temperatura son mayores, este gen se expresa, lo cual previene la floración. Sin embargo, si la planta se expone al frío y a pocas horas de luz, dicho gen empieza a reprimirse, lo cual permite que en la primavera se lleve a cabo la apertura. Mientras el FLC se exprese, la planta no puede florear, y debido a que la expresión

del gen se va reprimiendo, dependiendo del tiempo expuesto a las condiciones adecuadas, si esas condiciones se afectan por un repentino aumento en la temperatura, la floración puede tener dos destinos: *1)* la planta no florece o *2)* la planta florece a destiempo (por ejemplo, antes de la primavera o mucho tiempo después de la primavera). Por eso el calentamiento global está haciendo tanto daño a la floración en las plantas y a los polinizadores.

Fig. 10.15. *Epigenética y floración. El gen Flowering Locus C (FLC), importante para que se lleve a cabo la floración, está epigenéticamente regulado por la temperatura y la luz.*



Fuente: de la Peña y Loyola, 2017

Otro ejemplo claro es el de los gemelos idénticos, que poseen exactamente el mismo genoma, pero un individuo puede tener la enfermedad de Alzheimer y el otro no, lo que sugiere que los factores epigenéticos son clave en esta diferencia. Por último, los defectos genéticos y epigenéticos en combinación son causantes de muchas enfermedades, por lo que su estudio es una prioridad

para un gran número de investigadores. Un aspecto prometedor es el carácter reversible de la regulación epigenética (algo que no posee la genética). Si a esto le sumamos la posibilidad de manipular nuestro epigenoma mediante el sistema de edición genética CRISPR-dCas, podremos prever, para un futuro no muy lejano, terapias correctivas de defectos epigenéticos altamente específicas.

Las investigaciones clínicas toman cada vez más en cuenta la interdependencia entre genética y epigenética para entender el origen y desarrollo de la gran mayoría de las enfermedades. Un campo que está emergiendo es el de las neurociencias, donde son de particular interés las enfermedades cognitivas, como el Alzheimer, cuyo origen, con frecuencia, no es genético. Estas patologías podrían ser causadas por factores del ambiente, como el tipo de vida, el estrés, la alimentación, entre muchos otros. Nos encontramos en un momento histórico y de clara evolución en el conocimiento biológico (Recillas, 2022).

10.8 BIOTECNOLOGÍA

10.8.1 GENERALIDADES

La biotecnología se define comúnmente como la utilización de organismos vivos, o productos de los mismos, para el beneficio humano con el fin de desarrollar un producto o resolver un problema. Si bien, la biotecnología es una disciplina relativamente nueva, que no hace mucho que ha empezado a polarizar atención; en cierto modo esta ciencia implica varias prácticas ancestrales. Así también, nuevas y viejas prácticas en biotecnología hacen de esta disciplina uno de los campos de la ciencia más emocionantes y dinámicos. Afecta nuestra vida cotidiana y adquirirá incluso más importancia durante este siglo, el que algunos han denominado “el siglo de la biotecnología” (Thieman, 2010).

La biotecnología moderna recurre con frecuencia a la ingeniería genética, un término que se refiere a métodos más directos para modificar el material genético. Las células y los organismos sometidos a la ingeniería genética podrían tener genes que se han suprimido, sumado o cambiado. La ingeniería genética puede utilizarse para aprender más acerca de cómo funcionan

las células y los genes, para desarrollar mejores tratamientos para las enfermedades, desarrollar moléculas biológicas valiosas como hormonas y vacunas y para mejorar animales y plantas para la agricultura.

Una herramienta esencial de la ingeniería genética es el ADN recombinante, que es un ADN que fue modificado para llevar genes o segmentos de genes provenientes de otros organismos. Es posible producir grandes cantidades de ADN recombinante en bacterias, virus o levaduras, que luego se transfieren a otras especies. Las plantas y animales que expresan ADN modificado o derivado de otras especies se llaman organismos transgénicos o genéticamente modificados (OGM).

La biotecnología moderna incluye numerosos métodos para la manipulación del ADN, ya sea que se introduzca o no el ADN de manera subsecuente en una célula u organismo. Por ejemplo, determinar la secuencia de nucleótidos de segmentos específicos de ADN es fundamental para la ciencia forense, para el diagnóstico de los trastornos hereditarios y para estudios de las relaciones evolutivas entre organismos (Audesirk, 2013).

10.8.2 BIOTECNOLOGÍA ANIMAL

Es uno de los campos de la biotecnología que más rápido se está desarrollando. Animales como cabras, reses, ovejas y pollos se están utilizando como “biorreactores” experimentales para producir productos importantes como anticuerpos útiles para la medicina en el tratamiento de enfermedades en pacientes con trastornos del sistema inmunitario.

Hay producción de muchas otras proteínas terapéuticas que se producen a partir de animales. Para lograr producir estas proteínas a gran escala, los científicos crearon animales hembras transgénicas que expresen proteínas terapéuticas en su leche. Los animales transgénicos son aquellos a quienes se les ha insertado genes procedentes de otra fuente. Por ejemplo, genes humanos de la proteína de la coagulación sanguínea, se pueden introducirse en vacas para que produzcan esta proteína y esté presente en su leche.

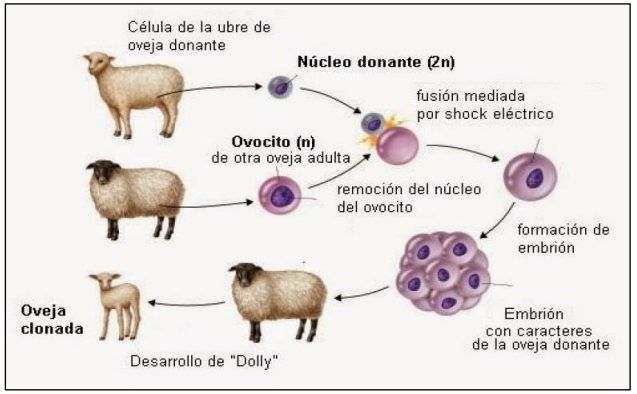
Los animales también son muy importantes en las investigaciones básicas. Por ejemplo, los experimentos genéticos de knockout, en los que se alteran uno o más genes, pueden ser de ayuda para el aprendizaje de la función de un gen. La intención del knockout es alterar un gen y después, viendo las

funciones afectadas en un animal como resultado de la pérdida de un gen determinado, definir el papel y la importancia de ese gen. Ya que muchos de los genes que se encuentran en los animales (incluyendo ratones y ratas) también están presentes en el hombre, el aprendizaje sobre la función génica en animales puede conducir a un mayor entendimiento de la función génica en humanos. Igualmente, el diseño y las pruebas de un medicamento y de terapias génicas en animales suele conducir a nuevas estrategias de tratamientos en humanos.

En 1997, los científicos y el público en general se sorprendieron, conmocionaron y recelaron ante el anuncio de que los científicos del Roslin Institute en Escocia habían clonado la ahora famosa oveja Dolly (Figura 10.15). Dolly fue el primer mamífero creado por medio de un proceso de transferencia de núcleos celulares.

Aunque la clonación humana no está permitida, los científicos están expectantes ante las técnicas usadas para clonar animales que contengan órganos transgénicos que puedan trasplantarse en humanos sin los riesgos del rechazo tisular. La clonación animal y la polémica subyacente a la clonación de organismos son temas importantes que hasta el día de hoy pueden generar debate y controversia.

Fig. 10.16. Técnica de la clonación.


Célula de la ubre de oveja donante
Núcleo donante (2n)
fusión mediada por shock eléctrico
Ovocito (n) de otra oveja adulta
remoción del núcleo del ovocito
formación de embrión
Oveja clonada
Embrión con caracteres de la oveja donante
Desarrollo de "Dolly"

Tomado de:

https://i0.wp.com/soclalluna.com/wp-content/uploads/2020/11/0dc400d0415b6fc6478be1ec224fcad3.jpg?resize=842%2C551&ssl=1

Fig. 10.17. La oveja Dolly, el primer éxito de clonación de mamíferos.

Tomado de:

https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ92ixbEejDltOv5IqOM58vCm151NX9YWMKWLE1ddqlo5BrRkMt

10.8.3 BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

En este tipo de biotecnología examinamos gran variedad de temas, desde plantas transgénicas resistentes a las pestes que no necesitan fumigación, hasta alimentos de mayor contenido proteico y medicamentos desarrollados y cultivados como productos vegetales, mejor crecimiento, resistencia a sequías, tolerancia al frío y una mayor producción.

La investigación de los últimos diez años demuestra claramente que las plantas se pueden modificar para producir gran variedad de proteínas farmacéuticas en diversos tipos de cosechas y tejidos. Las plantas en comparación con las bacterias, tienen más ventaja en la producción de proteínas recombinantes, asimismo, el costo de producción también es más bajo. Actualmente se está desarrollando también técnicas para la producción de biocombustibles, para suministrar fuentes de bioetanol, por ejemplo.

Los desechos agrícolas, pastos y otras fuentes de celulosa tendrán que convertirse en eficientes fuentes de energía a través de métodos de descomposición y fermentación, procesos utilizados por la biotecnología. La biotecnología vegetal también está orientada a generar productos farmacéuticos, comúnmente

conocida como fabricación molecular. Por ejemplo, el tabaco es un cultivo no alimenticio que ha sido objeto de muchos años de investigación agrónoma. La planta del tabaco se ha modificado genéticamente para producir proteínas recombinantes en sus hojas, y esas plantas pueden crecer en grandes campos para la fabricación molecular.

Fig. 10.18. Plantas Bt de algodón genéticamente modificados resisten al ataque de los insectos

Tomado de: Biología la vida en la tierra (Audesirk, 2013)

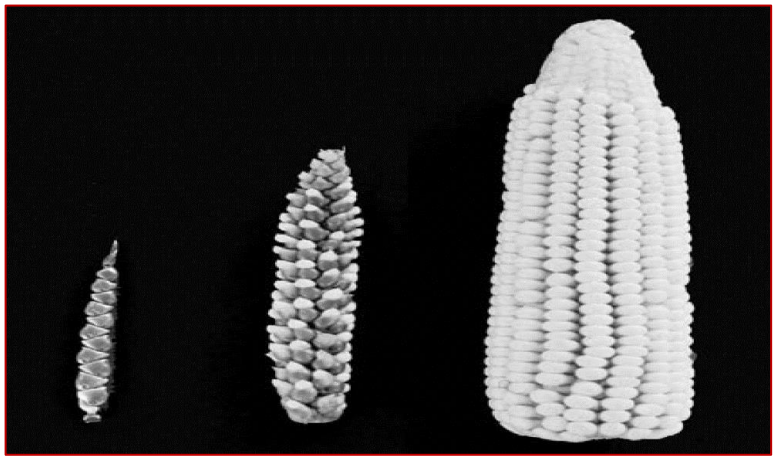
10.8.4 APLICACIONES ACTUALES

a) Crianza selectiva:

El hombre, por mucho tiempo usó la crianza selectiva como una aplicación de la biotecnología para mejorar la producción de los cultivos y ganado para su alimentación. En la crianza selectiva, los organismos con determinados rasgos se emparejan a propósito para que se reproduzcan. Se puede cruzar, por ejemplo, plantas que producen el maíz más grande con otras que sean más dulces y obtener un mejor producto.

Con los animales de granja se utilizan técnicas similares, por ejemplo, con pavos (para criar aves que desarrollen pechugas más grandes y tiernas), vacas, pollos y cerdos. Muchas de estas propuestas son verdaderas aplicaciones genéticas de la biotecnología. Sin darse cuenta y sin la necesidad de caros laboratorios, equipos sofisticados, científicos con doctorados y experimentos planeados, el hombre ha manipulado los genes durante cientos de años.

Fig. 10.19. Crianza selectiva



Tomada de: Introducción a la Biotecnología (Thieman y Palladino, 2010).

b) Antibióticos:

Una de las aplicaciones más extendidas y comprendidas de la biotecnología es el uso de los antibióticos. En 1928, Alexander Fleming descubrió que el moho *Penicillium* inhibía el crecimiento de una bacteria llamada *Staphylococcus aureus*, que provoca enfermedades cutáneas en humanos. Los trabajos posteriores de Fleming llevaron al descubrimiento y purificación de la penicilina antibiótica. Los antibióticos son sustancias producidas por microorganismos que inhiben el crecimiento de otros microorganismos. En la década de 1940, la penicilina se convirtió en un producto de amplia disponibilidad para el uso médico en el tratamiento de las infecciones bacterianas en personas. En las décadas de 1950 y 1960, los avances en bioquímica y biología celular hicieron posible purificar grandes cantidades de antibióticos de muchas variedades de bacterias. Actualmente se cultivan bacterias y otras células en grandes cantidades y pueden obtener infinidad de productos útiles y comercialmente importantes para la medicina y otras aplicaciones.

Fig. 10.20. Imágenes de antibióticos

Tomada de: https://biotechsa.com/2/news/la-exposicion-a-antibioticos-puede-cebar-a-las-bacterias-de-resistencia-unica-para-volverse- resistentes-a-multiples-farmacos/

c) Plantas modificadas para elaborar medicamentos

Pueden emplearse técnicas semejantes para insertar genes de utilidad médica en plantas, a modo de producir medicamentos "desde la semilla". Por ejemplo, mediante ingeniería genética una planta puede producir proteínas inocuas que de forma común se encuentran en bacterias o virus patógenos.

Si estas proteínas resisten la digestión del estómago y el intestino delgado, comer esas plantas sería como vacunarse contra los organismos patógenos. Hace varios años, estas "vacunas comestibles" se consideraban como un excelente medio para brindar vacunación, de este modo no sería necesario producir vacunas purificadas, no requerirían refrigeración alguna y, desde luego, no serían necesarias las agujas.

d) Tecnología del ADN recombinante:

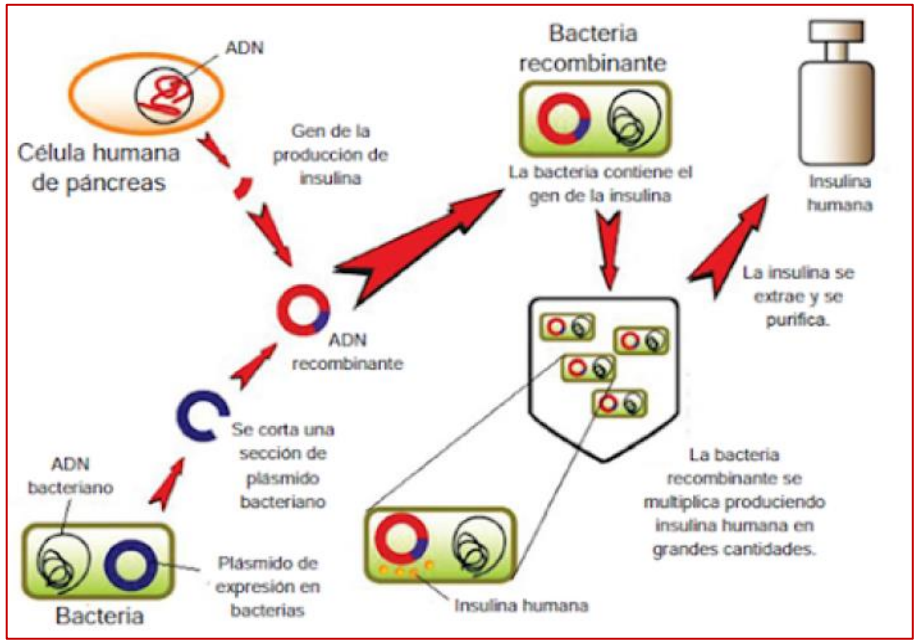
Desde la década de 1960, el rápido desarrollo de nuestros conocimientos en biología molecular y genética, ha llevado a nuevas y deslumbrantes innovaciones y aplicaciones de la biotecnología. Según hemos empezado a dilucidar los secretos de la estructura y función del ADN, las nuevas tecnologías han llegado a la clonación de genes, la capacidad de identificar y reproducir un gen en concreto, y junto con la ingeniería genética, manipular el ADN de un organismo. A través de la ingeniería genética, los científicos pueden combinar el ADN de diferentes fuentes. Este proceso, llamado tecnología del ADN recombinante, se emplea para producir muchas proteínas de uso médico como la insulina, la hormona del crecimiento humano y factores coagulantes.

Desde el comienzo, la tecnología del ADN recombinante ha dado lugar a cientos de aplicaciones, incluyendo el desarrollo de plantas resistentes a enfermedades, cultivos de frutas o vegetales de mayor productividad, el «arroz dorado» creado para ser más nutritivo, hasta una bacteria creada genéticamente, con capacidad de degradar contaminantes medioambientales.

El último récord de la tecnología del DNA recombinante lo alcanzó el Proyecto del Genoma Humano, un esfuerzo internacional que comenzó en 1990. Uno de los primeros objetivos del Proyecto del Genoma Humano era identificar todos los genes (el genoma) contenidos en el ADN de las células humanas y trazar sus localizaciones para cada uno de los 23 cromosomas humanos (cromosomas del 1 al 22 y los cromosomas X e Y). El Proyecto del Genoma Humano supone

un potencial ilimitado para el desarrollo de nuevos planteamientos diagnósticos para detectar enfermedades y enfoques moleculares para el tratamiento y cura de las enfermedades genéticas del hombre. Las posibilidades son muchas. El Proyecto del Genoma Humano puede decirnos la ubicación cromosómica y el código de cada gen humano a partir de genes que controlan los procesos celulares normales y determinan características como el color del pelo o de los ojos, la altura, el peso y hasta un sinnúmero de genes que causan enfermedades genéticas. Durante la próxima década y después de ella, seremos testigos de muchos descubrimientos en la genética humana. En muchos sentidos, la comprensión de las funciones de todos los genes humanos es uno de los misterios desconocidos y sin resolver de la biología (Thieman, 2010).

Fig. 10.21. Tecnología del ADN recombinante para la producción de insulina humana


ADN
Célula humana de páncreas
Gen de la producción de insulina
Bacteria recombinante
La bacteria contiene el gen de la insulina
Insulina humana
La insulina se extrae y se purifica.
ADN recombinante
Se corta una sección de plásmido bacteriano
ADN bacteriano
Plásmido de expresión en bacterias
Bacteria
La bacteria recombinante se multiplica produciendo insulina humana en grandes cantidades.
Insulina humana

Tomada de:

https://i0.wp.com/soclalluna.com/wpcontent/uploads/2020/12/unnamed-2.png?resize=738%2C510&ssl=1

e) Terapia Génica

Consiste en la inserción de genes sanos en las células de los tejidos de un paciente para corregir un defecto génico que origina una enfermedad. Actualmente, la terapia génica está dirigida a

las enfermedades monogénicas y tienen como objetivo intercambiar un gen defectuoso es decir mutado por uno no mutado o funcional. La glamorosa promesa de una terapia génica se viene frenando día a día con distintos obstáculos tales como tratar de buscar la mejor forma de hacer llegar el gen sano e intercambiarlo sacando al gen enfermo o que coexistan y el sano pueda sintetizar suficiente cantidad de proteínas como para suplantar las proteínas anómalas o su ausencia. Es decir, que el ingreso de este ADN recombinante no cause nuevos o peores problemas de salud que los que ya tiene el paciente con su enfermedad génica (Silvia B. Copelli, 2010).

TECNOLOGÍA DE LA EDICIÓN DE GENES: CRISPR
(*clustered regularly interspaced short palindromic repeats***)**

La historia de CRISPR comienza a finales de los años 80 en el laboratorio de **Yoshizumi Ishino** de la Universidad de Osaka. Ishino y su equipo describieron por primera vez unas secuencias repetidas muy características en el genoma de *Escherichia coli*. Poco después, en 1993, el equipo de investigadores dirigido por el microbiólogo alicantino **Francisco Juan Martínez Mojica** identificó (de forma independiente) estas secuencias repetidas en una arquea, *Haloferax mediterranei*. En ese momento los dos equipos desconocían la función de estas secuencias

10.9 DETERIORO AMBIENTAL

El daño y desequilibrio que los seres humanos provocamos a los ecosistemas al utilizarlos para satisfacer nuestras necesidades se conoce como deterioro ambiental. El deterioro ambiental es el resultado del mal uso que los seres humanos hemos hecho de los ecosistemas, de su biodiversidad y de los servicios ambientales que nos prestan. Actualmente el deterioro ambiental ha llegado a niveles extremos, lo que representa un gran riesgo para el equilibrio de la naturaleza e incluso podría significar el estancamiento o retroceso del desarrollo de las sociedades humanas (Carabias, 2009).

10.9.1 DETERIORO AMBIENTAL A NIVEL GLOBAL

El deterioro ambiental puede manifestarse a escala global o planetaria. Las principales formas en las que se expresa el deterioro a esta escala son el cambio climático, el adelgazamiento de la capa de ozono en la estratosfera, la desertificación y la reducción de la biodiversidad.

10.9.1.1 Cambio climático

El clima de la Tierra se encuentra naturalmente en constante cambio y, a lo largo de su historia, nuestro planeta ha pasado por épocas de enfriamiento (como las glaciaciones) y de calentamiento.

En estos años se habla de que estamos en una nueva época de cambio climático, el cual consiste primordialmente en el aumento de la temperatura en todo el mundo. Por desgracia, en esta ocasión no se trata de un fenómeno natural, sino provocado por las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la quema de la vegetación natural para abrir tierras agrícolas y ganaderas, y la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera.

El principal producto de la combustión de compuestos orgánicos es el CO_2. Este gas, que se presenta naturalmente en la atmósfera a una concentración muy baja, es uno de los principales causantes del efecto invernadero, responsable del calentamiento global (Carabias, 2009).

Debido a ello, nos hemos adentrado en una nueva era en la historia de la vida de nuestro planeta, era en la cual una sola especie (los seres humanos) puede tener la capacidad de alterar el clima de la Tierra. Debemos examinar de qué manera las actividades humanas están cambiando la química de la atmósfera y cómo estos cambios pueden alterar el clima de la Tierra. También deberemos explorar de qué forma estos cambios pronosticados en el clima terrestre tienen el potencial de producir un impacto sobre los sistemas ecológicos, al cambiar la distribución de las especies, alterar sus interacciones y esencialmente influir en la distribución y productividad de los ecosistemas.

Finalmente, debemos explorar de qué manera estos cambios en el clima de la Tierra y en los ecosistemas tienen un potencial para afectar directamente la salud y el bienestar de la población humana (Smith, 2007).

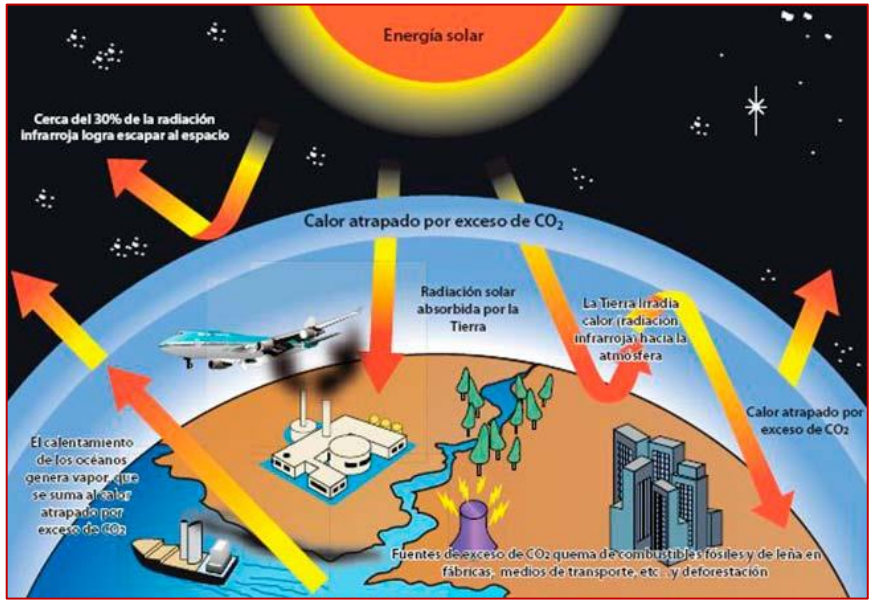
10.9.1.2 Efecto invernadero

Muchos compuestos químicos naturalmente presentes en la atmósfera de la Tierra, principalmente el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2) y el ozono (O_3), absorben la radiación térmica (de onda larga) emitida por la superficie y la atmósfera de la Tierra. La atmósfera se calienta por este mecanismo y, a su vez, emite radiación térmica y una parte significativa de su energía actúa para calentar la superficie y la capa inferior de la

atmósfera. En consecuencia, la temperatura promedio del aire de la superficie de la Tierra es más elevada de lo que sería sin la absorción atmosférica y la radiación de energía térmica. Este fenómeno se conoce popularmente como efecto invernadero y los gases responsables del efecto también se llaman gases de efecto invernadero.

La cantidad de energía que llega desde el Sol a la superficie de la Tierra debería ser aproximadamente 'equivalente a la cantidad de energía irradiada nuevamente al espacio, para que la temperatura media de la superficie de la Tierra permanezca relativamente constante. Sin embargo, desde que comenzó el período industrial, las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra han aumentado drásticamente. Debido a la alteración causada por los gases de efecto invernadero en el balance energético de la Tierra, ha surgido la preocupación sobre el impacto potencial del aumento de las concentraciones de gas de efecto invernadero sobre el sistema climático global (Smith, 2007).

Figura 10.22. El efecto invernadero


Energía solar
Cerca del 30% de la radiación infrarroja logra escapar al espacio
Calor atrapado por exceso de CO_2
Radiación solar absorbida por la Tierra
La Tierra irradia calor (radiación infrarroja) hacia la atmósfera
Calor atrapado por exceso de CO_2
El calentamiento de los océanos genera vapor que se suma al calor atrapado por exceso de CO_2
Fuentes de exceso de CO_2: quema de combustibles fósiles y de leña en fábricas, medios de transporte, etc. y deforestación

Tomado de: https://www.greenteach.es/wp-content/uploads/2019/05/efecto-invernadero-6.jpg

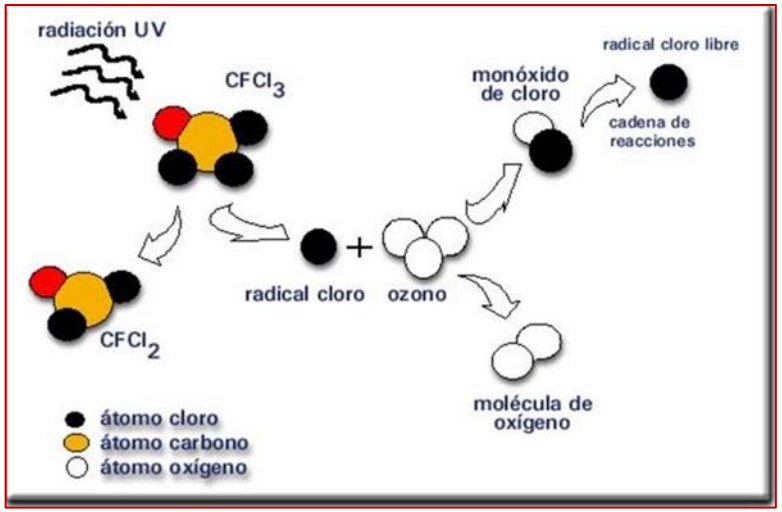
10.9.1.3 Adelgazamiento de la capa de ozono

Desde la década de 1970 se sabe que ciertas sustancias que produce el ser humano, en particular los óxidos de nitrógeno y los CFC, destruyen la capa de ozono de la estratósfera. Durante muchos años los CFC se usaron extensivamente en aparatos de refrigeración, aerosoles y solventes. Estos contaminantes provocan un adelgazamiento en la capa de ozono, pues pueden

alcanzar las capas altas de la atmósfera con el movimiento natural de las masas de aire. Ahí, al entrar en contacto con la radiación UV liberan átomos de cloro que reaccionan con el ozono para producir oxígeno molecular y óxido de cloro, como lo muestra la siguiente ecuación química:

$$O_{3(g)} + Cl_{(g)} \rightarrow O_{2(g)} + ClO_{(g)}$$

Fig. 10.23. La interacción entre los rayos UV, CFC y Ozono (O_3) causan un adelgazamiento en la capa protectora de la tierra



Tomado de:

https://www.profesorenlinea.cl/imagenciencias/ozonoCFCimage0 02.jpg

Este fenómeno es más evidente en las regiones polares, sobre todo en el hemisferio sur. Al adelgazarse la capa de ozono de la estratósfera, se presenta un incremento en la radiación ultravioleta de tipo B (UV-B) que llega a la superficie terrestre. La radiación UV-B tiene una longitud de onda comprendida entre 280 y 320 nm. Su mayor incidencia causa un aumento en la frecuencia de casos de cáncer de piel en las personas y produce ceguera en las ovejas de las regiones más australes de Argentina y Australia. La afección más frecuente, en el mundo desarrollado, es la aparición prematura de las cataratas.

Por fortuna, se han dado grandes pasos para “tapar” el agujero en la capa de ozono. El Protocolo de Montreal 1987 y sus posteriores enmiendas establecen límites y periodos para la reducción progresiva de varias sustancias que agotan el ozono. En un notable esfuerzo mundial, 191 países firmaron el tratado. Estados Unidos redujo su producción de CFC en casi 98%. La pérdida de ozono ya no está en aumento y algunas áreas de la estratósfera ahora muestran pequeñas mejorías (Audesirk, 2013).

10.9.1.4 Desertificación

Es el proceso por el que ciertas regiones del planeta que originalmente no correspondían a zonas desérticas y semidesérticas, adquieren las características fisonómicas de éstas como resultado de su degradación ante la pérdida de vegetación natural y la consecuente erosión del suelo. Cuando se presenta en zonas naturalmente secas, la pérdida de vegetación acentúa su aridez, desarrollándose un paisaje aún más yermo.

La pérdida de vegetación permite la erosión del suelo y la intensificación de las sequías, lo que reduce aún más la productividad de la tierra. Un ejemplo de desertificación se encuentra en la región Sahel justo al sur del desierto del Sahara en África, que se excedió de manera significativa con el pastoreo y se ha degradado conforme su población humana en rápido crecimiento trata de producir el alimento adecuado (Audesirk, 2013).

La desertificación es, por lo tanto, un proceso causado por el ser humano y se ha agravado como producto del cambio climático. Conlleva a la degradación de las tierras de cultivo por la pérdida de fertilidad, sobre todo en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas del planeta.

Se suele pensar equivocadamente que el origen de los desiertos está relacionado con el proceso de desertificación. Los desiertos son ecosistemas que se presentan naturalmente en las regiones secas del planeta, y los organismos que habitan en ellos están adaptados a estas condiciones. Muchos desiertos tienen una diversidad de plantas y animales relativamente alta, y algunos presentan un alto número de endemismos. Por el contrario, la desertificación es un proceso causado por el ser humano y constituye un problema de dimensión mundial que afecta a la gran mayoría de los países en todos los continentes.

10.9.1.5 Pérdida de la biodiversidad

Otro de los graves problemas ambientales que enfrentamos por causa de la acción humana y que se agudizará en este siglo XXI es la pérdida de la biodiversidad, es decir, la desaparición de ecosistemas naturales, de especies y de su variabilidad genética. La pérdida de biodiversidad se debe principalmente al cambio de usa de suelo (pérdida de los hábitats naturales), la sobreexplotación de recursos bióticos, la introducción de especies exóticas invasivas, la contaminación y el cambio

climático. Particularmente, la reducción de la variabilidad genética de algunas especies cultivadas se produce al eliminar ciertas variedades y razas naturales que se encontraban en los hábitats que han sido degradados o destruidos.

Uno de los procesos más preocupantes de la pérdida de biodiversidad, es la extinción de especies. La mayoría de las extinciones actuales son producto de las actividades de la especie humana, y no de causas naturales. La velocidad de extinción actual es entre 100 y 1,000 veces mayor que la que se ha presentado, en promedio, a lo largo de la historia de la Tierra, de acuerdo con las estimaciones a partir del registro fósil.

Se estima que el tiempo de permanencia de una especie en la Tierra es, en promedio, de 5 a 10 millones de años. Tomando en cuenta el número de especies extintas y actuales, este tiempo de permanencia implica que durante la historia de la Tierra la tasa de extinción ha sido, en promedio, de una especie por año. Sin embargo, en épocas recientes la tasa de extinción es de 100 a 1,000 especies por año, según las estimaciones de algunos investigadores. Esta tasa de extinción actual es tan grande, que inevitablemente llevará a una pérdida global de la riqueza de especies, pues no es posible que los procesos naturales de evolución originen nuevas especies al mismo ritmo.

10.9.1.6 Aumento de la concentración de dióxido de carbono

La concentración atmosférica de CO_2 ha aumentado más del 25 por ciento durante los últimos 100 años. Las evidencias antes de las observaciones directas de 1958 provienen de varias fuentes, inclusive el análisis de burbujas de aire atrapadas en el hielo de los glaciares en Groenlandia y en la Antártica.

Mediante la reconstrucción de las concentraciones de CO_2 atmosférico durante los últimos 300 años, observamos valores que fluctúan entre 280 y 290 ppm hasta mediados del siglo XIX. Después del comienzo de la Revolución Industrial el valor aumentó de forma constante, y se elevó exponencialmente a partir de la mitad del siglo XIX. El cambio refleja la combustión de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) como fuente energética para las naciones industrializadas.

La combustión de combustibles fósiles no es la única causa del aumento de la concentración atmosférica de CO_2. La deforestación también es una causa importante. Las zonas boscosas normalmente se talan y queman para el cultivo.

Aunque los árboles pueden talarse para la madera y la pasta de papel, una gran parte de la biomasa, de la capa de hojarasca y materia orgánica del suelo se queman, liberando el carbón a la atmósfera como CO_2.

10.9.2 DETERIORO AMBIENTAL A NIVEL LOCAL

Muchas formas en que se manifiesta el deterioro ambiental se perciben a una escala local, más parecida a la escala en que desarrollamos nuestra vida cotidiana.

10.9.2.1 Deforestación

Consiste en la remoción de la cubierta vegetal natural de una localidad o una región. Se estima que 40% de la superficie terrestre está deforestada, y las dimensiones de esta superficie siguen aumentando cada año. Se calcula que entre 1980 y 1995 se perdieron en el mundo alrededor de 200 millones de hectáreas de cobertura forestal, lo cual equivale a una superficie como la de todo el territorio mexicano. Esto significa que se perdieron más de 13 millones de hectáreas de vegetación natural por año en ese periodo. Los países en los que la superficie deforestada fue mayor fueron Brasil, Colombia e Indonesia.

Fig. 10.24. Deforestación de bosques

Tomado de:

https://wwflac.awsassets.panda.org/img/luis_barreto___wwf_uk__5__757269.jpg

10.9.2.2 Pérdida y degradación del suelo

La pérdida de la capa de suelo fértil que cubre la superficie de los continentes se conoce como erosión. La preocupación en torno al proceso de erosión está asociada al hecho de que la enorme mayoría de las actividades agropecuarias que se llevan a cabo en el mundo dependen por completo del suelo para producir alimentos (la hidroponía constituye una excepción).

Diversos factores acrecientan las presiones sobre el uso del suelo para dirigirlo hacia actividades agropecuarias. Se destaca el incremento de la población humana, la falta de planeación del desarrollo, la urbanización, el aumento de la infraestructura, la aplicación de tecnologías agrícolas inadecuadas y la pobreza. Se estima que el suelo agrícola en el mundo constituye cerca de 12% de la superficie terrestre y que más de una quinta parte de éste se encuentra degradado por el mal uso, que reduce enormemente su productividad.

10.9.2.3 Problemas por el uso del agua

Del agua dulce que utiliza el ser humano en sus actividades, la mayor proporción (83%) se usa para la agricultura, mientras que sólo 12% se consume en las ciudades y 5% se dedica a la industria. Por desgracia, el uso que se da al agua en la agricultura es muy ineficiente, pues 55% se desperdicia a causa del uso de sistemas de riego poco funcionales u obsoletos. La cantidad de agua que se pierde en la agricultura es mayor que la que emplea para todos los demás usos.

El estilo de vida actual, el crecimiento de las ciudades y el consumo excesivo de agua para la agricultura han provocado la sobreexplotación de los mantos acuíferos del subsuelo, los cuales tardaron millones de años en formarse. Por si esto fuera poco, una proporción muy alta del agua que se devuelve a la naturaleza está contaminada, ya que se usa como medio para el transporte de desechos. Por ello, cuatro de cada 10 personas en el mundo utilizan aguas contaminadas, tanto para beber como para bañarse, lo cual provoca serios problemas de salud (Carabias, 2009).

10.9.2.4 Deterioro Ambiental y COVID-19

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se conocen más de 200 zoonosis. La rabia, la leptospirosis, el ántrax, la fiebre amarilla y el dengue, así como la mayoría de las enfermedades emergentes (incluyendo el COVID-19) son zoonosis (Giacchino, 2020).

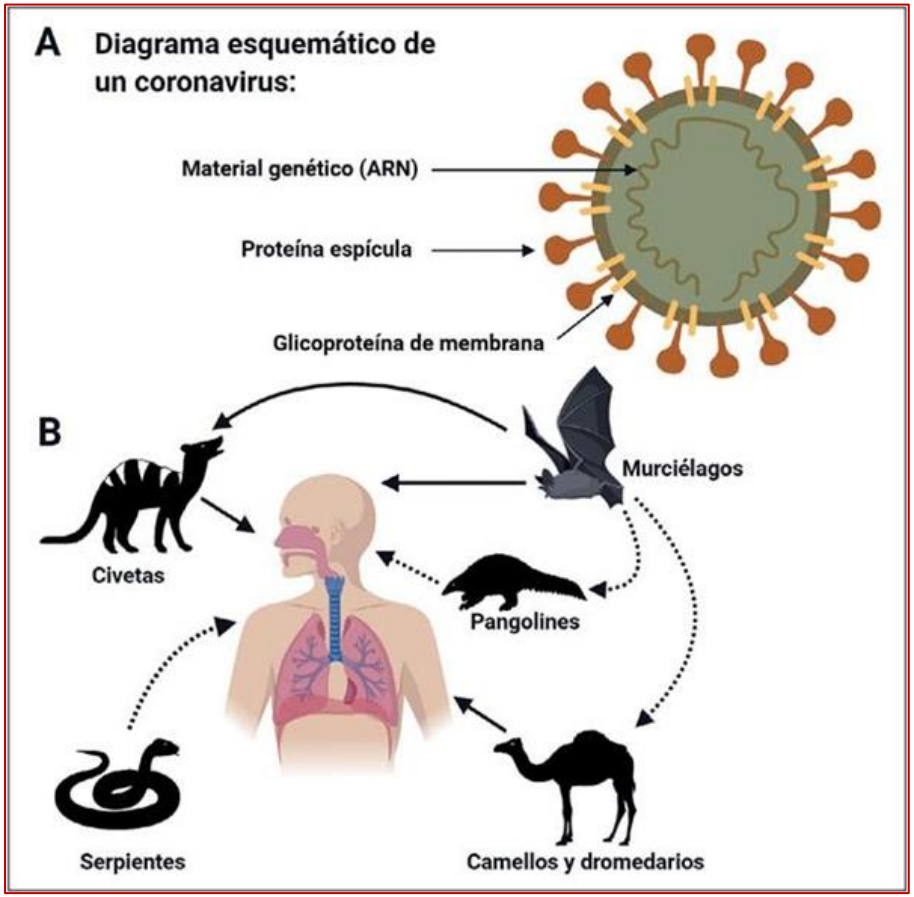
Los principales factores que contribuyen al incremento de zoonosis en el presente son:

- Destrucción, simplificación y modificación de ambientes naturales fragmentación del hábitat.
- Pérdida de biodiversidad (extinción de especies y disminución de la abundancia y densidad de poblaciones).
- Crecimiento de la población mundial.

- Urbanización y expansión de carreteras.
- Sistemas de producción no sustentables.
- Cambios en el uso de la tierra: agricultura, ganadería, forestaciones.
- Culturales y sociales (mascotismo, alimentación, caza y consumo de carne de animales silvestres, condiciones de hábitat, movilidad de personas y productos, cambios en el comportamiento humano, invasión en hábitats silvestres).
- Comercio de vida silvestre.
- Contaminación ambiental,
- Cambio climático como amplificador de los desequilibrios ambientales.

Sistemas de gobernanza inadecuados a nivel local, nacional e internacional.

Fig. 10.25. Zoonosis del SARS-CoV2



Tomado de https://www.scielo.cl/img/revistas/rmc/v148n1//0717-6163-rmc- 148-01-0124-gf01.jpg

BIBLIOGRAFÍA:

1. Alhogbi, B. G. (2017). *Biología 1*. *Journal of Chemical Information and Modeling, 53*(9), 21–25. http://www.elsevier.com/locate/scp
2. Andrade, L. (2011). La dualidad análogo digital de la información se ejemplifica en el estudio de las moléculas de RNA. *Acta Biológica Colombiana, 16*(3), 15-42.
3. Bolívar, F. (2004). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna* (1ª ed.).
4. Brack, A., & Mendiola, C. (2004). *Ecología del Perú* (2ª ed.). Bruño. https://www.peruecologico.com.pe/libro.htm
5. Carabias, J. (2009). *Ecología y medio ambiente en el siglo XXI*. Pearson Educación.
6. Copelli, B. S. (2010). *Genética: Desde la herencia hasta la manipulación de genes* (1ª ed.). Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
7. Dangelo, G., & Fattini, C. (2007). *Anatomía humana sistemática y segmentaria* (3ª ed.). Atheneu.
8. Rueda, D. (2016). *Genética general: Teoría y problemas*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
9. De Erize, E., & Gonzales, J. (2012). *Biología: La ciencia de la vida*. McGraw Hill.
10. Fowler, S., Roush, R., & Wise, J. (2013). *Concepts of biology*. OpenStax.
11. Giacchino, A. (2020). *COVID-19: La pérdida de biodiversidad y el riesgo para la salud humana* (1ª ed.). Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Universidad Maimónides.
12. Gudynas, E. (2003). *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible* (5ª ed.).
13. Hilje, L. (1984). Simbiosis: Consideraciones terminológicas y evolutivas. *Uniciencia, 1*(1), 57-60.
14. Jeffries, B. (2020). *La pérdida de la naturaleza y el surgimiento de las pandemias: Protegiendo la salud humana y planetaria*. WWF Italia.
15. Klug, W. S., Cummings, M. R., Spencer, C. A., & Palladino, M. A. (2006). *Conceptos de genética*. Pearson Educación.
16. Lewin, B. (2008). *Genes IX*. McGraw-Hill Interamericana.
17. Odum, E., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentos de ecología* (5ª ed.).

18. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Memoria del Secretario General sobre la labor de la organización*. Naciones Unidas.

19. Osuna Fernández, H. R., Osuna Fernández, A. M., & Fierro Álvarez, A. F. (2017). *Manual de propagación de plantas superiores*. https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual_plantas.pdf

20. Pantoja, A., Smith-Pardo, A., García, A., Sáenz, A., & Rojas, F. (2014). *Polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en Latinoamérica y el Caribe*.

21. Perera, T., & García, J. L. (2002). *Ingeniería genética: Vol. I, preparación, análisis, manipulación y clonaje de DNA*. Síntesis.

22. Pierce, B. A. (2006). *Genética: Un enfoque conceptual* (2ª ed.). Médica Panamericana.

23. Ramos, A., Colondros, A., Serrano, B., & Tomé, E. (2016). *Genética* (Unidad 2). McGraw Hill Education.

24. Smith, T., & Smith, R. (2007). *Ecología* (6ª ed.). Pearson Educación.

CEPRUNSA

CALIDAD EN LA PREPARACIÓN ACADÉMICA

I FASE

2026